This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

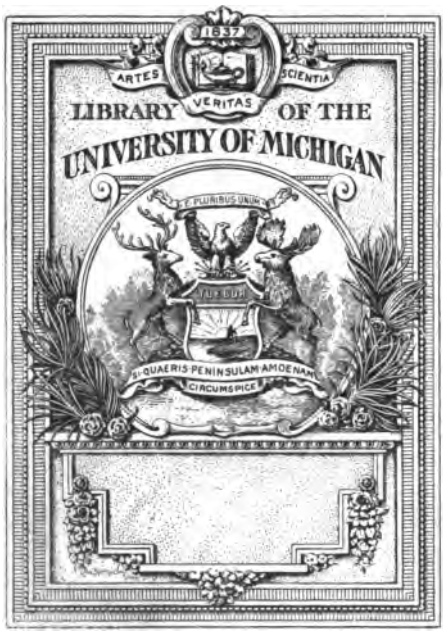
+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.



THE GIFT OF

Dr. [illegible]

Q
113
.A665

Populäre Astronomie

von

Franz Arago.

(Nach der von J. A. Barral besorgten französischen Ausgabe.)

Deutsche Original-Ausgabe.

Herausgegeben

von

Dr. W. G. Hankel

ord. Professor der Physik an der Universität Leipzig.

Erster Band.

Leipzig

Verlag von Otto Wigand.

1855.

Dominique François Jean

(Franz) Arago's

sämmtliche Werke.

Mit einer Einleitung

von

Alexander von Humboldt.

Deutsche Original-Ausgabe.

Herausgegeben

von

Dr. W. G. Hankel

ord. Professor der Physik an der Universität Leipzig.

Elfter Band.

Leipzig
Verlag von Otto Wigand.
1855.

Vorwort

des Verfaſſers.

Die Sitte ein Vorwort zu ſchreiben iſt ſo allgemein geworden, daß es von meiner Seite gewiſſermaßen verwegen erſcheinen könnte, wollte ich mich von dieſer Sitte losſagen, um ganz einfach mit dem Anfange anzufangen. Mein Entſchluß iſt indeſſen ſehr leicht zu rechtfertigen: ich glaube im Anfange nicht einen hohen Ton annehmen zu dürfen, den ich, ſobald es zur Sache kommt, doch unbedingt wieder aufgeben müßte. Auch bin ich der Meinung, die Aſtronomie bedürfe keines fremden Schmuckes: denn Strenge und Klarheit der Methoden, deren man ſich in der Aſtronomie bedient, und Größe und Nützlichkeit der Ergebniſſe, das ſind die wahren Anſprüche, welche dieſe Wiſſenſchaft an die Aufmerkſamkeit gebildeter Leſer machen darf. In ſolchen Fällen ſind klare, beſtimmte und unbeſtreitbare Zahlen wirkſamer, als Alles was man möglicherweiſe an Redeſchmuck aufwenden könnte.

Warum nicht lieber gleich, fragten mich die Freunde, mit denen ich von meinem Vorhaben ſprach, einen geſchichtlichen Abriß aufſtellen von den Fortſchritten der Aſtronomie ſeit den älteſten Zeiten bis auf unſere Epoche? Meine Antwort war folgende: „Wer klar und ver-

ständlich sein will, der kann diese Idee in der Einleitung eines astronomischen Lehrbuchs unmöglich verwirklichen; denn wie soll man von Präcession der Aequinoctien, von Parallaxen und von Störungen vor Leuten reden, von denen man annimmt, die wahre Bedeutung dieser technischen Ausdrücke sei ihnen gänzlich unbekannt? Die besondere Geschichte jeder wissenschaftlichen Frage soll vielmehr ihre Stelle am Schlusse der verschiedenen Kapitel finden, die ich der Erklärung der herrlichen Erscheinungen des Sternhimmels widmen werde, und der Herleitung derjenigen Gesetze, welche die Bewegung der im Raume zerstreuten Körper regeln."

Seitdem es Bücher gibt, haben sie jederzeit aus einer Vorrede, aus einem Inhaltsverzeichnisse und aus dem eigentlichen Werke selbst bestanden. In der Vorrede gibt sich, so zu sagen, der Verfasser zu erkennen: er legt die Beweggründe dar, welche ihn geleitet haben, gibt seine Methode an und bezeichnet sein Ziel; er zählt endlich die Ansprüche her, die er auf das Vertrauen der Leser hat. Das Inhaltsverzeichniß enthält die genaue Angabe aller Fragen, die der Verfasser aufgeworfen, angegriffen und behandelt hat, und der Ergebnisse zu denen er gelangt ist. Daher kommt es, daß Vorrede und Inhaltsverzeichniß zuerst die Aufmerksamkeit auf sich ziehen müssen, und auch in der That die Aufmerksamkeit der Leser jeder neuen Schrift auf sich ziehen, ihre Neugier zu allererst erregen.

Die Vorrede zu diesem Lehrbuche kann meiner Ansicht nach ganz kurz sein. Das Inhaltsverzeichniß dagegen muß von großer Ausdehnung sein, habe ich doch die höchsten und complicirtesten Erscheinungen der physischen Welt, wenigstens in ihren Hauptergebnissen, der Reihe nach dem Leser vorzuführen.

Von einigen Nachträgen abgesehen, welche der stete Fortschritt der Wissenschaft nothwendig machte, ist das Elementarwerk, das ich gegenwärtig dem Publikum unter dem Titel Populäre Astronomie

vorlege, die fast wörtliche Wiederholung der Vorlesungen, die ich achtzehn Jahre hintereinander auf der Sternwarte gehalten habe; aber da ich meine Schrift ein Elementarwerk genannt habe, so muß ich den genauen Begriff, den ich mit diesem Worte verbinde, erläutern.

Wir besitzen Lehrbücher, in denen die Verfasser die allereinfachsten Begriffe aus der Astronomie zusammengestellt haben, z. B. die Begriffe vom Aufgange und Untergange der Gestirne, von der ungleichen Dauer der Sonnentage und ihrem Einflusse auf die verschiedenen Temperaturen, die man in den einzelnen Jahreszeiten empfindet, von den Verfinsterungen der Sonne und des Mondes u. s. w.; aber es fehlt viel daran, daß solche Begriffe die ganze astronomische Wissenschaft ausmachten. Meinerseits habe ich mir vorgenommen in diesem Werke die gesammte Wissenschaft zu umfassen; was das Ziel betrifft, soll mein Buch vollständig sein, elementar aber durch die Methode, die ich gewählt habe.

Fontenelle schrieb, als er seine elegante Schrift über die Mehrheit der Welten herausgab: „Ich verlange von meinen Lesern nur soviel Geisteskraft als nothwendig ist den Roman Astrăa zu verstehen, und alle Schönheiten desselben zu empfinden." Meine Anforderung wird zwar größer sein, aber dafür will ich mich nicht darauf beschränken, wie der ehemalige Sekretär der Akademie der Wissenschaften gethan hat, mehr oder weniger wahrscheinliche Theorieen über die Bewohnbarkeit der verschiedenen Planeten und unsers Mondes zu entwickeln; ich werde die Betrachtung auf schwierigere Punkte der Wissenschaft lenken. Zu diesem Zwecke werde ich einiger geometrischen, optischen und mechanischen Definitionen und Lehrsätze bedürfen, welche vor den eigentlichen astronomischen Entwickelungen ausgesprochen und mitunter sogar bewiesen werden sollen. Aus diesen sehr einfachen Lehrsätzen besteht, genau genommen, die Geometrie, die Optik, die Mechanik des gesunden Verstandes. Möge mir der Leser diesen trocke-

nen Anfang verzeihen: ich kann dafür die Versicherung geben, daß wer sich diese Vorbegriffe wohl zu eigen gemacht hat, im Verfolge der Schrift auf keine Schwierigkeit stoßen wird. Allerdings hätte ich diese Wahrheiten auch im weitern Verlaufe des Buches, jedesmal wo sich das Bedürfniß zeigte, entwickeln können, aber es scheint mir als müsse der eingeschlagene Weg verständlicher sein, und deßwegen habe ich für ihn mich entschieden. Sollte aber Jemand den letzteren Weg vorziehen, so werden ihm dies die zahlreichen Verweisungen auf diese verschiedenen Lehrsätze und Definitionen verstatten.

Es wird erzählt, daß die Führer der Caravanen, um die Reisenden gegen die Langeweile und Entmuthigung zu schützen, die sie auf der Wanderung durch die brennenden, afrikanischen Sandwüsten oftmals ergreift, niemals verfehlen die Wunder und herrlichen Genüsse der Oasen im Voraus zu schildern. Ihrem Beispiele, dünkt mich, durfte ich zwar nicht folgen; aber ich habe mich bemüht, aus den technischen Betrachtungen, ohne welche die Wanderung des Lesers jeder Sicherheit entbehren würde, Alles zu entfernen, was sie vielleicht in ihrer äußern Gestalt schwierig erscheinen läßt, indem ich jedoch stets darauf bedacht war, ihnen ihre volle Genauigkeit zu bewahren. Die in der Astronomie gebräuchlichen Methoden sind übrigens, an sich selbst, abgesehen von den wunderbaren Resultaten, zu denen sie geführt haben, des Interesses höchst würdig, wollte man sie selbst nur als eine Uebung betrachten, die man anstellt, um den Geist mit der Strenge der Schlüsse vertraut zu machen, und um ihm das Studium der empirischen Vorschriften der Logik zu ersparen.

Es gibt auch vorgebliche Wissenschaften, die wenn man sie beleuchten wollte, fast alles Blendwerk verlören. Dergleichen hat die Astronomie nicht zu befürchten, denn wie große Helligkeit man auch über die Methoden und Beweise verbreitete, niemals würde man den Ausruf vernehmen: Das ist Alles! Dagegen schützt sie das Uner-

meßliche in den Resultaten. Copernicus sagte im Jahre 1543 in seiner Schrift De Revolutionibus: „Ich werde mein System heller machen als die Sonne, für diejenigen wenigstens, welche der Mathematik nicht fremd sind.“ Diese Beschränkung ist für mich überflüssig, denn ich halte es für möglich, die Wahrheit der heutigen astronomischen Theorieen auf das Einleuchtendste zu beweisen, ohne andere Kenntnisse zur Hülfe zu nehmen, als die sind, welche man durch aufmerksame Lectüre weniger Seiten erwerben kann. Ich behaupte, daß es möglich sei, die Astronomie nutzenbringend vorzutragen, ohne sie zu verkleinern, fast hätte ich gesagt ohne sie zu entwürdigen, und zwar so, daß die schwierigsten Begriffe derselben auch für diejenigen verständlich werden, welche der Mathematik fast fremd sind.

Das Annuaire du Bureau des Longitudes enthält mehrere Kapitel aus diesem Werke, die ich dort übrigens nur mit der Bemerkung für den Leser eingerückt habe, daß sie meinem Lehrbuche der Astronomie entnommen seien; ich habe dieselben hier mit nur wenigen Aenderungen und Zusätzen wiederaufgenommen. Hat nicht Fontenelle, den ich noch einmal anführe, von einem Verfasser, der in seinen eigenen Worten ganze Seiten aus seinen früheren Schriften wiederaufnahm, gesagt: „Wozu Wendungen und Ausdrücke ändern, wenn die Gedanken dieselben bleiben?“

Ich mußte bald gewahr werden, daß mein Entschluß, das Geschichtliche über jeden Gegenstand nach der Auseinandersetzung der Thatsachen zu geben, auf welche sich die Lösung, bei der ich stehen bleibe, gründet, vielfache Wiederholungen unvermeidlich machte; aber dieser Uebelstand vermochte mich nicht aufzuhalten, weil verständig angebrachte Wiederholungen in wissenschaftlichen Dingen ein sehr brauchbares Mittel sind dasjenige aufzuhellen, was anfänglich zweifelhaft erschien; und Klarheit, dünkt mich, schickt sich für den, welcher sich belehrend an das Publikum wendet.

Eine besondere Sorgfalt habe ich ferner darauf gewendet, die wahren Urheber der astronomischen Entdeckungen anzuführen, von welchen die Rede sein mußte; und gewissenhaft habe ich jedesmal die Lehrbücher meiner Vorgänger angeführt, aus denen ich Darstellungen entlehnte, mit deren Hülfe ich solche Theorieen elementar vortragen konnte, die bisher schwierige und mühsame Rechnungen zu erfordern schienen.

Hätten die Verfasser einiger neueren Schriften dieselbe Gerechtigkeit geübt, so sähe ich mich nicht zu der Bemerkung gezwungen, daß mehrere Beweise, welche sie als die ihrigen vortragen, schon in meinem Cursus, welchem sie häufig beigewohnt haben, vorgekommen sind. Doch ist hier nicht der Ort die Frage zu erörtern, ob es ihnen erlaubt war sich meine Vorlesungen anzueignen; indem ich diese Stelle niederschreibe, will ich den Leser nur warnend auf Aehnlichkeiten hinweisen, die mich in den Verdacht eines einfachen Entleihers bringen könnten, in Fällen wo ich in der That der Darleiher bin.

Geschichtschreiber und Alterthumsforscher, sowie alle Mitglieder der Akademie der Inschriften versäumen es niemals, die Arbeit oder das gute Glück derjenigen ihrer Collegen hervorzuheben und anzuerkennen, welche aus einem verlorenen, im Staube unserer Bibliotheken verborgenen Buche interessante Thatsachen hervorgezogen haben. Anders ist es im Bereiche der exacten Wissenschaften. Hier finden es die Büchermacher ganz in der Ordnung, die Arbeiten und Entdeckungen Anderer auf ihre Rechnung zu nehmen; ja soweit ist es in dieser Beziehung gekommen, daß ein Gelehrter, der die Frucht seiner Arbeiten nicht geheim gehalten hat, Gefahr läuft für einen Plagiator zu gelten, und mit Schriftstellern zusammengestellt zu werden (ich könnte sie namhaft machen), die zum Abfassen ihrer Werke Nichts nöthig hatten als ihre Erinnerung und eine Scheere. Ich bin weit, sehr weit entfernt den materiellen Gewinn aus einem solchen Gewerbe zu beneiden, auf

das ich öffentlich aufmerksam mache, und von dem ich erkläre, daß diejenigen welche es ausüben, nicht den geringsten Anspruch auf den Titel eines Gelehrten haben, nicht einmal auf den eines unterrichteten Mannes.

Galilei schrieb im Jahre 1660, als er schon einige Zeit blind war, daß es fast mit verbundenen oder geschlossenen Augen Schach spielen heiße, wenn man sich der Augen und der Hand eines Andern bediene. Was mich betrifft, bei dem Zustande der Gesundheit, in welchem ich mich gegenwärtig befinde, wo ich des Augenlichts beraubt, diese letzten Zeilen dictire, und nur noch wenige Tage zu leben habe: mir bleibt nur übrig, den Händen thätiger und ergebener Freunde ein Werk anzuvertrauen, dessen Herausgabe zu überwachen mir nicht vergönnt sein wird.

Einleitende Worte

gesprochen am 15. Mai 1841, bei Eröffnung der astronomischen Vorlesungen auf der pariser Sternwarte.

Meine Herren! Ich überlasse mich nicht dem Gefühle der Befriedigung nnd des Vertrauens, welche eine so zahlreiche und so wohlwollende Zuhörerschaft unwillkürlich in mir erwecken könnte, denn ich trage der öffentlichen Neugier Rechnung, die unzweifelhaft bei Eröffnung eines jeden Cursus von Vorlesungen angereizt wird. Hauptsächlich bin ich des Umstandes eingedenk, daß am heutigen Tage Viele den Weg nach der Sternwarte eingeschlagen haben, um sich mit eigenen Augen zu überzeugen, auf welche Weise einem geschickten Baumeister die Lösung eines sehr schwierigen Problems gelungen ist: des Problems nämlich, einen weiten Zuhörerraum elegant und bequem herzustellen, auf einem engen, sehr undankbaren Platze; und zwar innerhalb eines Umfangs, dessen äußere, ganz bizarre Form geboten war von der Nothwendigkeit auf der Westseite einen den Beobachtungszimmern auf der entgegengesetzten Seite dieses großen Gebäudes entsprechenden Bau aufzuführen. In dieser Beziehung wenigstens wird es hoffentlich Niemand bereuen, sich hierher bemüht zu haben.

Auch will ich nicht die innere Bewegung zu verbergen ſuchen, die mich bei Eröffnung dieſer Vorleſungen ergreift, und die man mit Unrecht für die Wirkung einer falſchen Beſcheidenheit halten würde: ſie iſt im Gegentheile die unausbleibliche Folge der Umſtände, unter denen ich mich befinde.

Die Reihe der Vorleſungen die ich hiermit eröffne, iſt eine der Verpflichtungen, welche dem Längenbureau durch ſeine Statuten auferlegt ſind. Indem meine Collegen mir die Ehre ihrer Vertretung übertrugen, haben ſie mir ganz freie Wahl gelaſſen, von welchem Geſichtspunkte aus ich die Wiſſenſchaft auffaſſen, und in wie vielen Vorleſungen ich die Hauptlehren derſelben vor Ihnen entwickeln wollte. Hiernach würde ich berechtigt ſein einen aſtronomiſchen Curſus für Fachgelehrte zu halten, oder eine Reihe von Vorleſungen über nautiſche Aſtronomie für Marineofficiere oder über die Beziehungen der Aſtronomie zur Uhrmacherkunſt. Aber alle dieſe Vorleſungen könnten nur bei einer kleinen Anzahl von Zuhörern Intereſſe erwecken: aus dieſem Grunde habe ich einen weiteren Rahmen gewählt, und mich zu Vorleſungen entſchloſſen, die Jedermann verſtändlich ſein ſollen. Aber, das muß ich wohl bemerken, nur in der Form des Vortrags ſollen ſie elementar ſein; alle Zweige der Wiſſenſchaft, die ſchwierigſten nicht ausgenommen, ſollen der Reihe nach vor Ihnen vorüber geführt werden.

Und hier treten meine Befürchtungen ein; hier ſtellt ſich eine Schwierigkeit entgegen, die faſt unüberſteigbar iſt. Sie haben ſchon errathen, worin dieſe Schwierigkeit beſteht: auf welches Maaß mathematiſcher Vorkenntniſſe darf ich bei meinen Zuhörern rechnen? Was ſoll ich in dieſer Beziehung annehmen, um Allen gerecht zu werden? Der eine würde mir die Trigonometrie noch zugeſtehen; ein anderer würde nicht über die Elementargeometrie hinausgehen wollen, und ein dritter möchte den Wunſch hegen, daß ich von den ſchnell zum Ziele

führenden, fruchtbaren Methoden der Differentialrechnung Anwendung machte. Indem es nun ganz unmöglich ist die Wünsche der Unterrichtetsten miteinander in Einklang zu bringen, habe ich meinerseits an die Mehrzahl gedacht und den radicalsten Entschluß unter allen gefaßt. Ich will also in diesen Vorlesungen keine mathematische Kenntniß irgend einer Art bei meinen Zuhörern voraussetzen, für die vier oder fünf Sätze aus der Elementargeometrie, welche uns unentbehrlich sein werden, will ich Ihnen die Beweise geben, oder werde wenigstens die Bedeutung dieser Sätze scharf feststellen.

Nur nach reiflicher Ueberlegung betrete ich diesen Weg; ich weiß wohl, daß berühmte Gelehrte mein Vorhaben für unausführbar erklären, aber ihre Entscheidung entmuthigt mich nicht. So wenig zweifelhaft scheint mir der Erfolg, daß ich noch ein Mal erkläre, alle Fragen ohne Ausnahme in Betracht ziehen zu wollen: was den Stoff betrifft, sollen diese Vorlesungen erschöpfend sein, elementar nur äußerlich durch die Methoden, welche ich wähle. Denn niemals würde ich mich entschließen können vor Ihren Augen eine Wissenschaft herabzusetzen oder nur zu verengen, von der man mit vollem Rechte gesagt hat, sie gebe den wahren Maaßstab für die Kräfte des menschlichen Geistes.

Nachdem dieser Hauptpunkt einmal feststand, fragte ich mich soeben noch, welches der Gegenstand dieser ersten Vorlesung sein sollte. Ob ich gleich von Natur wenig geneigt bin betretene Wege zu gehen, dachte ich doch einen Augenblick daran, den gewöhnlichen Weg einzuschlagen und eine Eröffnungsrede zu halten; aber ich gab den Gedanken auf, sobald ich erkannte, daß solche Reden nothwendigerweise Gemeinplätze sind, die man in der Form mehr oder weniger verjüngt. In einer Eröffnungsrede denkt der Vortragende viel mehr an sich selbst als an seine Zuhörer, und schon diese einzige Betrachtung hätte hingereicht, meinen Entschluß zu bestimmen. Mein einziger Ehrgeiz soll es hier sein, Sie in die astronomischen Wahrheiten einzuweihen, welche die

Frucht von dreitausendjährigen Studien, Untersuchungen und beharrlichen Arbeiten sind. Für diesen Zweck will ich Alles einsetzen; selbst bis zum Ueberdrusse will ich, wenn es nöthig scheint, das Vorgetragene wiederholen. Jeder Kritik unterwerfe ich mich im Voraus: mag ich Ihnen sogar weitschweifig und unelegant erscheinen, wenn Sie mich nur klar und streng in den Beweisen finden.

Als sich einst die Gelehrten stritten, ob eine griechische Schrift über die Welt von Aristoteles sei oder nicht, entschied sich Daniel Heinsius für die Unächtheit derselben. Sein Hauptbeweis war folgender: „Die fragliche Schrift bietet nirgend jenes majestätische Dunkel dar, das in den übrigen Schriften des Aristoteles die Unwissenden zurückschreckt."

Nach meinem Verständnisse kann Dunkelheit in keinem Falle Anspruch auf Lob begründen: und deßhalb ziehe ich es, trotz Heinsius' Autorität, bei dieser Gelegenheit vor, mir jenen sinnreichen Ausspruch eines andern Philosophen zurückzurufen: „Klarheit ist Höflichkeit von Seiten derer, welche öffentlich reden." Alles werde ich aufbieten, damit Sie mich nicht für unhöflich halten.

Einleitende Worte

gesprochen am 17. December 1846, bei Eröffnung der letzten Reihe astronomischer Vorlesungen auf der pariser Sternwarte.

Einer der größten Schriftsteller des vorigen Jahrhunderts, Montesquieu, äußerte von den akademischen Reden und von den Eröffnungsreden der Staatskörperschaften: „Das sind bloße Prunkwerke.“ Aber zu derselben Gattung hätte Montesquieu auch die Eröffnungsreden öffentlicher Vorlesungen rechnen können.

In dem unbesiegbaren Widerwillen, den ich gegen Alles habe, was an Prahlerei erinnert, werde ich keine Eröffnungsrede halten.

„Ich leide an der Krankheit Bücher zu machen,“ äußerte gleichfalls Montesquieu, „und wenn ich Bücher gemacht habe, mich ihrer dann zu schämen.“

Diese Worte des berühmten Verfassers des Esprit des Lois waren zwar Nichts als ein bedeutungsloser Einfall; ich aber meinerseits behaupte ganz ernstlich: „Ich habe die Sucht Vorlesungen zu halten, und wenn ich sie gehalten habe, damit sehr unzufrieden zu sein.“

Ich werde alſo, meine Herren, ohne Weiteres ſagen, wer mir den Auftrag zu dieſen Vorleſungen gegeben, und wie ich mich dieſes Auftrags zu erledigen gedenke.

Das Längenbureau beſteht durch ein Geſetz vom 7. Meſſidor des Jahres III (25. Juni 1795).

Im Artikel 6 dieſes Geſetzes iſt vorgeſchrieben, daß eines der funfzehn Mitglieder oder Adjuncten, aus denen das Bureau beſteht, einen öffentlichen Curſus der Aſtronomie halte.

Seitdem dieſer Artikel in Kraft iſt, fiel die Wahl meiner Collegen jedes Mal auf mich. Allerdings hätte ich dieſe Ehre in gegenwärtigem Jahre ablehnen können, und vielleicht ablehnen ſollen: aber der Gedanke daran iſt nicht einmal in mir aufgeſtiegen, obgleich es in meinem Alter natürlich iſt, ſich nach Ruhe zu ſehnen, — ſo nenne ich nämlich die Arbeiten des Studirzimmers. Sie aber werden mich verſtehen, wenn Sie je von einer Idee tyranniſch beherrſcht waren; wenn Sie entſchloſſen waren dieſe Idee durchzuſetzen, die Sie für gerecht und nützlich erkannt, und die Sie im Kampfe begriffen ſahen.

Dies iſt genau meine Stellung der Art gegenüber, wie man Aſtronomie vorträgt. Männer von hervorragendem Verdienſte behaupten, dieſe Wiſſenſchaft könne nur denjenigen gelehrt werden, welche ſchon umfaſſende Kenntniſſe in der Mathematik beſitzen. Sie wollen, man ſolle in die Geometrie, in die ebene und ſphäriſche Trigonometrie eingeweiht ſein; ja in gewiſſen beſondern Punkten verlangen ſie ſogar Kenntniß der Differentialrechnung. Dagegen behaupte ich nun, das Weſen der Methoden laſſe ſich vollſtändig und mit Erfolge einem aufmerkſamen Zuhörerkreiſe erklären, der niemals einen Blick in ein geometriſches Buch gethan hat. Drei oder vier unentbehrliche Sätze kann man auf's Einfachſte beweiſen, und Nichts hindert uns, dieſe Beweiſe in die Vorleſungen ſelbſt einzuſchalten. Mit einigen nützlichen Vorbegriffen aus der Mechanik und Optik verhält es ſich ebenſo.

Uebrigens läßt sich dieser Streit nur thatsächlich zu Ende führen. So ist es denn ein großer, ein feierlicher Versuch, den wir gemeinschaftlich miteinander anstellen wollen. Wohl weiß ich, daß ich auf Ihre wohlwollende Aufmerksamkeit rechnen darf: mein Eifer wird Ihnen redlich entgegen kommen. Und nun werden Sie begreifen, wie ich, ohne paradox zu erscheinen, den Wunsch aussprechen darf, mein Zuhörerkreis möge größtentheils, ja er möge ausschließlich aus solchen bestehen, die der Mathematik fremd sind.

Populäre Aſtronomie

mit einigen Nachträgen und Bemerkungen verſehen, welche in der franzöſiſchen Ausgabe nicht enthalten ſind.

Erstes Buch.

Geometrische Vorbegriffe.

Erstes Kapitel.

Definitionen.

Was man unter einer *geraden Linie* und unter einer *krummen Linie* versteht, ist allgemein bekannt.

Es ist hier nicht der Ort zu untersuchen, ob es eine genügende Definition der geraden Linie sei, wenn man sagt, daß sie die kürzeste Linie ist, die man zwischen zwei gegebenen Punkten ziehen kann, oder daß sie diejenige Linie ist, welche zwischen zwei Punkten nur eine einzige Lage annehmen kann.

Eine gerade Linie, so wie man sich eine solche vorstellt, hat nur nach einer einzigen Richtung hin Ausdehnung, und diese nennt man ihre *Länge*. Das äußerste Ende einer geraden Linie nennt man einen *Punkt*.

Einen Raum, der sich gleichzeitig nach zweierlei Richtungen ausdehnt, nach der Länge und Breite, nennt man eine *Fläche*.

Eine Fläche kann *eben* oder *krumm* sein. Eben ist sie, sobald eine gerade Linie nach allen Richtungen hin mit ihr zusammenfallen kann. Eine Fläche ist dagegen krumm, wenn es auf ihr Richtungen gibt, in welchen die gerade Linie nicht vollständig mit ihr zusammenfällt.

Eine Ebene (ebene Fläche) ist vollständig bestimmt, sobald man drei Punkte kennt, durch welche sie gehen soll, vorausgesetzt, daß diese

drei Punkte nicht in gerader Linie liegen; mit anderen Worten, ſie iſt beſtimmt, ſobald man zwei gerade Linien kennt, die in ihr liegen ſollen.

Eine krumme Linie kann eben oder doppelt gekrümmt ſein.

Eine krumme Linie iſt eben, wenn man ſich eine Ebene denken kann, in welcher ſie ganz enthalten iſt. Sie heißt dagegen doppelt gekrümmt, wenn, wie bei einer Schneckenlinie, nicht alle ihre Theile in eine Ebene gelegt werden können.

Vieleck oder Polygon nennt man eine Figur, welche durch gerade Linien begrenzt wird; dieſe letzteren heißen die Seiten des Polygons.

Man kann eine krumme Linie wie ein Polygon betrachten, vorausgeſetzt, daß man die Seiten deſſelben äußerſt klein, oder wie die Geometer ſagen, unendlich klein annimmt.

Unter den Polygonen iſt das Dreieck das einfachſte; es wird durch drei gerade Linien gebildet, deren jede durch zwei von drei Punkten geht. Da nun drei Punkte zur Beſtimmung einer Ebene nothwendig und hinreichend ſind, ſo iſt ein geradliniges Dreieck nothwendig eben.

Sind die drei Seiten eines geradlinigen Dreiecks ungleich, ſo nennt man das Dreieck ein ungleichſeitiges; ſind zwei Seiten gleich, ſo heißt es ein gleichſchenkliges.

Das Dreieck, deſſen drei Seiten untereinander gleich ſind, wird dagegen ein gleichſeitiges genannt.

Ein von vier Seiten begrenztes Polygon heißt ein Viereck; man unterſcheidet bei den Vierecken das Parallelogramm, das Rechteck, das Quadrat, die Raute.

Zweites Kapitel.

Vom Kreiſe.

Ein Kreis iſt eine ebene Fläche, und kann deßwegen in ſeiner ganzen Ausdehnung in eine Ebene gelegt werden. Dieſe Fläche wird durch eine krumme Linie begrenzt, von der alle Punkte gleichweit von einem innern Punkte abſtehen, den man den Mittelpunkt des Kreiſes nennt.

Diese begrenzende Curve nennt man den Kreisumfang. Irgend ein Theil derselben heißt ein Kreisbogen.

Die vom Mittelpunkte nach irgend einem Punkte des Kreisumfangs gezogene gerade Linie wird Halbmesser oder Radius genannt; bis zum entgegengesetzten Punkte des Umfangs verlängert, heißt sie Durchmesser.

Ein Durchmesser ist demnach zwei Halbmessern gleich.

Es kommt häufig vor, besonders in der Astronomie, daß man nicht ganze Kreise, sondern Theile derselben betrachten muß; diesen hat man besondere Namen beigelegt.

Wird der ganze Umfang des Kreises in 360 gleiche Theile getheilt, so heißt jeder dieser Theile ein Grad*).

So lange die Wissenschaft noch in der Kindheit war, genügte es, den Kreisumfang in Grade einzutheilen; als aber die Beobachtungen sich verfeinerten, empfand man bald das Bedürfniß, kleinere Theile als die Grade in Betracht zu ziehen. Diese Theile nannte man Minuten, und jeder Grad enthält deren 60. Auf den Kreis kommen demnach 60 mal 360, oder 21600 Minuten.

Als man endlich mit Hülfe der Fernröhre noch kleinere Größen als Minuten zu unterscheiden vermochte, gab man jedem dieser Theile noch 60 Unterabtheilungen, welche Secunden genannt wurden.

Die Gesammtzahl der Secundenabtheilungen im Kreisumfange ist gleich der Zahl 21600 multiplicirt mit 60, oder gleich 1296000.

Manche Schriftsteller nehmen weitergehend an, jede Secunde sei in 60 Theile getheilt, was auf Terzien führt; die Sechszigstel von Terzien würden Quarten sein u. s. f.

Die Astronomen jedoch, um die Resultate, die sie veröffentlichen, nicht dem Vorwurfe einer nur eingebildeten Genauigkeit auszusetzen, bedienen sich, aus Furcht des Charlatanismus verdächtig zu werden,

*) Als in Frankreich das Decimalsystem eingeführt wurde, wollte man es auf die Eintheilung des Kreises gleichfalls ausdehnen, und gab dem Umfange 400 Theile. Jeden derselben nannte man grade. Die Zahl 400 war aber insofern unbequem, als sie nicht soviel Divisoren bietet als die ursprünglich angenommene Zahl; deßwegen ist man später zu der alten Theilung zurückgekehrt, deren wir uns in diesem Werke ausschließlich bedienen werden.

weder der Terzien noch der Quarten. Sie bleiben alſo bei den Secunden ſtehen und, wenn nöthig, bei Decimalbruchtheilen dieſer ſchon ſo kleinen Größen.

Die großen Theile des Kreisumfanges, die Grade, werden durch eine kleine Null bezeichnet, die man rechts ein wenig über diejenige Ziffer ſetzt, welche angibt, von wieviel Graden die Rede iſt; 25^{0} bezeichnet demnach 25 Grade. Ein kleiner, ebenſo angebrachter Strich bezeichnet die Minuten, und zwei derartige Striche nebeneinander deuten die Secunden an. So z. B. $47^{0}\,28'\,37''$ lieſt man 47 Grade 28 Minuten 37 Secunden.

Die Ausdrücke Minuten und Secunden, mit denen man die $60^{\text{ſtel}}$ und $3600^{\text{ſtel}}$ eines Grades bezeichnet, haben den kleinen Nachtheil, daß man ſich ihrer in der gewöhnlichen Redeweiſe auch zur Meſſung gewiſſer Zeittheile bedient, indem der erſtere bekanntlich den $60^{\text{ſten}}$ Theil einer Stunde, der letztere den $60^{\text{ſten}}$ Theil einer Minute bedeutet. Eine wirkliche Verwechſelung indeſſen entſteht daraus nur in ſeltenen Fällen, da in den aufzulöſenden Problemen jedes Mal klar genug ausgeſprochen iſt, ob es ſich um den Raum oder um eine Zeitdauer handelt. Um übrigens jedem Mißgriffe vorzubeugen, unterläßt man nicht, wo es erforderlich wird, anzugeben, ob man Bogenminuten und Bogenſecunden meint, oder Zeitminuten und Zeitſecunden. Auch beim Schreiben iſt eine bedauerliche Verwirrung dadurch entſtanden, daß man dieſelben Zeichen ohne Unterſchied zur Bezeichnung der Minuten und Secunden in Zeit und in Bogen angewandt hat. In den neueren Werken beſteht dieſer Uebelſtand nicht mehr, indem die Zeitminuten durch den kleinen Buchſtaben ^{m}, die Zeitſecunden durch ^{s} bezeichnet werden.

Es wäre vielleicht vortheilhaft geweſen, wenn man gleich zu Anfange weſentlich verſchiedenen Dingen unähnliche Namen gegeben hätte; aber zu der Zeit, als die Wiſſenſchaft ſich vervollkommnete, hatte der Sprachgebrauch ſich bereits feſtgeſetzt.

Als noch weniger löblich muß ich die, obgleich allgemein herrſchende, Gewohnheit betrachten, derzufolge man mit demſelben Ausdrucke Grade, ſowohl aliquote Theile der Kreiseintheilung, d. h. die $360^{\text{ſtel}}$ des Umfangs, als auch die $80^{\text{ſtel}}$ oder die $100^{\text{ſtel}}$ des Intervalls be-

zeichnet, welches die Flüssigkeit im Thermometer zwischen dem Schmelzpunkte des Eises und dem Kochpunkte des Wassers durchläuft. Wer indessen nur einmal auf die Möglichkeit dieses Irrthums aufmerksam gemacht wurde, ist schon dadurch gegen eine Verwechselung dieser verschiedenen Arten von Graden vollkommen gesichert.

Drittes Kapitel.

Vom Gebrauche des Kreises.

Die Alten betrachteten den Kreis als die vollkommenste krumme Linie; alle himmlischen Bewegungen mußten also, meinten sie, im Kreise vor sich gehen.

Diese leidige Vorstellung führte die Griechen zu äußerst verwickelten Systemen, welche indessen für alle Zeit völlig zusammenbrachen, sobald die Astronomie durch eine Anzahl genauer Beobachtungen bereichert worden war. Aber nichtsdestoweniger spielt der Kreis eine sehr wichtige Rolle unter den künstlichen Hülfsmitteln, die der menschliche Verstand erdenken mußte, um sich inmitten der äußerst complicirten Bewegungen aller Art zurechtzufinden, welchen die Gestirne unterworfen sind.

Jeder Durchmesser theilt den Kreis und seinen Umfang in zwei gleiche Theile. Geht das eine Ende des Durchmessers durch den Nullpunkt eines getheilten Kreises, so ist der andere Endpunkt desselben im $^{360}/_{2}^{ten}$, d. h. im 180sten Grade; geht dagegen das eine Ende eines Durchmessers durch den Theilstrich, der den 90sten Grad abschließt, so trifft das andere Ende auf den 270sten, weil die beiden Endpunkte eines Durchmessers jederzeit um 180^{0} von einander entfernt sein müssen u. s. f.

In allen Lehrbüchern der Geometrie findet man den Beweis eines wichtigen Lehrsatzes von äußerst fruchtbarer Anwendung, der so lautet: die Kreisumfänge sind den Halbmessern proportional. Dies ist so zu verstehen, daß wenn man einen Faden um einen Kreisumfang vom

Halbmeſſer 1 gelegt hat, dieſer Faden doppelt ſo lang ſein würde, wenn man ihn um einen Umfang von doppeltem Halbmeſſer legte; daß die Länge des Fadens nach der Abwickelung dreifach wäre für einen dreimal ſo großen Halbmeſſer u. ſ. f. Dieſe Proportionalität beſteht nicht nur, ſo lange es ſich, wie in den angeführten Fällen, um einfache Verhältniſſe handelt, ſondern ſie bleibt auch gültig für Kreisumfänge, deren Halbmeſſer untereinander ein ganz beliebiges Verhältniß haben. Denkt man ſich z. B. eine Reihenfolge von Kreiſen, deren Radien wären $1, 1 + {}^1/_{10}, 1 + {}^1/_{100}, 1 + {}^1/_{1000}$ u. ſ. w., ſo würden ihnen Umfänge zugehören, deren zweiter um ${}^1/_{10}$ größer wäre als der erſte, der dritte um ${}^1/_{100}$, der vierte um ${}^1/_{1000}$ u. ſ. w., größer als der erſte Kreisumfang, deſſen Halbmeſſer gleich 1.

Man muß dieſe Reſultate ſorgfältig beachten, da wir bald nützliche Anwendungen davon machen werden.

Nehmen wir nun an, man habe um einen und denſelben Punkt C als Mittelpunkt (Fig. 1. S. 9) Kreisumfänge mit verſchiedenen Halbmeſſern CA, CB, CD, CE beſchrieben, ſo nennt man dieſe Kreiſe concentriſche. Eine dieſer Kreislinien, und zwar die kleinſte von allen, ſei in 360 gleiche Theile oder in 360 Grade getheilt; man ziehe vom gemeinſchaftlichen Mittelpunkte der Kreiſe Halbmeſſer nach jedem der 360 Theilpunkte des kleinſten Kreiſes, und verlängere ſie bis zum zweiten, dritten, vierten Kreiſe, ſo werden dieſe Halbmeſſer jeden Kreis in dieſelbe Anzahl von untereinander gleichen Theilen, d. h. in Grade theilen.

Da nun die ganzen Umfänge den Halbmeſſern proportional ſind, ſo müſſen die 360ſten Theile der Kreisumfänge oder die Grade in demſelben Verhältniſſe ſtehen.

Dies heißt nichts anders, als daß die geradlinige Abwickelung des Bogens von einem Grade eines Kreiſes von doppeltem Halbmeſſer doppelt (Fig. 1.) ſo groß iſt, als die gradlinige Abwickelung eines Grades des Kreisumfangs von einfachem Halbmeſſer.

Auf dieſelbe Weiſe iſt bei gegebener geradlinigen Abwickelung des Bogens von einem Grade eines Kreiſes vom Halbmeſſer 1, die geradlinige Abwickelung eines Grades eines Kreiſes vom Halbmeſſer $1 + {}^1/_{100}$, um ${}^1/_{100}$ größer, und ſo in allen andern Fällen, welches auch das Verhältniß der Halbmeſſer ſein mag.

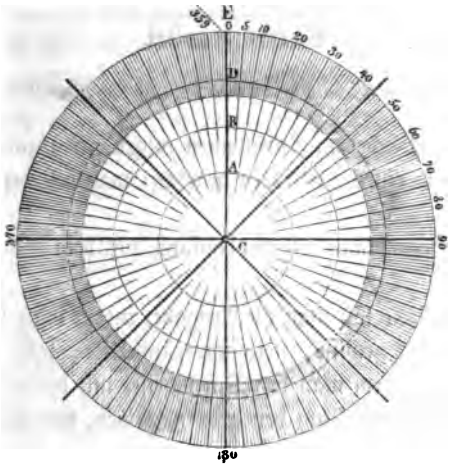


Fig. 1. — Theilung des Kreises in Grade.

Wir haben die Kreise concentrisch angenommen, um diese verschiedenen Sätze von selbst einleuchtend zu machen; man sieht jedoch leicht, daß sie ebenso richtig blieben, wo immer die Kreise beschrieben wären, vorausgesetzt nur, daß den angegebenen Bedingungen Genüge geschähe. Der einzige Unterschied besteht darin, daß wenn die Kreise concentrisch sind, nur einer von allen, etwa der kleinste, in Grade eingetheilt zu sein braucht, um die übrigen, einfach durch Verlängerung der verschiedenen Radien bis zu den Kreisumfängen, gleichfalls in Grade einzutheilen.

Die Krümmung des Kreises kann erst erkannt werden oder wird erst merklich, wenn die Bogen eine gewisse Ausdehnung erlangen. Ein kleiner Bogen, etwa von wenigen Minuten, und noch vielmehr ein Bogen von nur wenigen Secunden fällt in seiner ganzen Erstreckung fast genau mit einer geraden Linie zusammen.

Dies fast vollständige Zusammenfallen eines Kreisbogens und einer geraden Linie gilt ungefähr bis zum Bogen von einem Grade. Man nennt diejenige gerade Linie, welche in dieser Weise auf eine kleine Strecke mit einem Kreisbogen zusammenfällt, eine Tangente.

Viertes Kapitel.

Verhältniß des Kreisumfangs zum Durchmeſſer.

Häufig bietet ſich dem Aſtronomen folgende Aufgabe dar:

Der Umfang eines Kreiſes iſt gegeben; man ſoll den Durchmeſſer finden.

Und umgekehrt, man ſoll den Umfang aus dem bekannten Durchmeſſer herleiten.

Im erſten Falle löſt man die Aufgabe, indem man den gegebenen Umfang durch eine gewiſſe, ſtets unveränderliche Zahl dividirt, und im zweiten Falle, indem man den Durchmeſſer mit derſelben Zahl multiplicirt. Man begreift leicht den großen Nutzen, den die Beſtimmung einer ſolchen Zahl haben muß.

Da wir als ausgemacht annehmen, daß ſich die Kreisumfänge mathematiſch genau wie ihre Halbmeſſer verhalten, dergeſtalt daß einem doppelten Halbmeſſer ein doppelter Kreisumfang zugehört, einem dreifachen Halbmeſſer ein genau dreimal ſo großer Kreisumfang, einem zehnfachen Halbmeſſer ein zehnfacher Umfang u. ſ. w., ſo folgt nothwendig aus dieſem Satze, daß wenn man für einen Kreis von gegebener Größe das Verhältniß der Halbmeſſer kennt, oder wenn, was auf daſſelbe hinauskommt, das Verhältniß der Länge des Durchmeſſers zu der Länge des in eine gerade Linie abgewickelten Kreisumfanges bekannt iſt, eben dies Verhältniß auf jeden andern Kreis von größerem oder kleinerem Durchmeſſer Anwendung findet.

Das Verhältniß des Durchmeſſers zum Kreisumfange und umgekehrt des Umfangs zum Durchmeſſer haben die Praktiker mit derjenigen Genauigkeit zu beſtimmen vermocht, welche für das Bedürfniß der Künſte ausreicht, indem ſie einfach untereinander verglichen die Länge des Durchmeſſers und die Länge eines undehnbaren Fadens, den man vorher um den Kreisumfang gelegt hatte; von dieſem gewiſſermaßen mechaniſchen Verfahren iſt indeſſen keine ſchriftliche Spur auf unſere Zeiten gekommen.

Archimed, der von 287 bis 212 v. Chr. lebte, iſt der älteſte Schriftſteller, bei welchem man eine Unterſuchung des Verhältniſſes

zwischen Durchmesser und Kreisumfang findet, die auf geometrischem Wege angestellt ist.

Der unsterbliche Geometer von Syrakus fand nämlich, daß wenn der Durchmesser eines Kreises in 7 gleiche Theile getheilt wird, 21 solcher Theile eine kleinere, 22 aber eine größere Länge ergeben, als der abgewickelte Kreisumfang [1]).

Peter Metius, der um die Mitte des 16. Jahrhunderts lebte, der Vater eines Künstlers, welcher Ansprüche auf Erfindung der Fernröhre erhob [2]), gab die beiden Zahlen 113 und 355 als einen sehr genäherten Ausdruck des Verhältnisses der Länge des Durchmessers zur Länge des Umfangs. Drückt man dies Verhältniß durch einen Decimalbruch aus, so kommt man in der That auf eine Zahl, die erst in der achten Ziffer von dem späterhin genauer anzuführenden Werthe abweicht.

Das Verhältniß $^{113}/_{355}$ hat, wie seitdem bewiesen worden ist, die Eigenschaft, das genaueste unter allen zu sein, die man durch ebensowenig Ziffern ausdrücken kann. Auch ist es bei diesem Verhältnisse merkwürdig, daß man darin nur die ersten drei ungeraden Zahlen, jede zweimal erblickt; aus diesem Grunde wird es leicht im Gedächtnisse behalten.

Auf welche Weise Metius dies nach ihm benannte Verhältniß ermittelt hat, ist nicht bekannt.

Den Rechnungen, die man zu dem Zwecke angestellt hat, das Verhältniß des Umfangs zum Durchmesser genauer zu ermitteln, liegt ein Princip zu Grunde, das man so aussprechen kann: der Umfang eines Kreises ist größer als der Umfang jedes eingeschriebenen Vielecks, und kleiner als der Umfang des umschriebenen Vielecks.

Die Umfänge dieser beiden Arten von Polygonen ABCDEF und PQRSTV (Fig. 2. S. 12) lassen sich in Theilen des Halbmessers OC des Kreises GHKLMN berechnen, der dem innern Vieleck umschrieben, und zugleich dem äußern eingeschriebenen ist. Findet man bei Berechnung der geradlinigen Abwickelung zweier solcher Vielecke von gleicher Seitenzahl, in Theilen des Halbmessers eines und desselben Kreises, beispielsweise bis zur zehnten Decimale übereinstimmende Resultate, so kann man sicher sein, bis

zu dieſer Decimale hin das Verhältniß des Umfangs zum Durchmeſſer des Kreiſes genau zu haben, da dies Verhältniß, (um es noch einmal auszuſprechen), nothwendig liegen muß zwiſchen demjenigen Verhältniſſe, welches die Abwickelung des umſchriebenen Vielecks, und demjenigen, welches das eingeſchriebene liefert; oder in den Buchſtaben der untenſtehenden Figur: das Verhältniß des Kreisumfangs GHKLMN zum Halbmeſſer OC iſt kleiner als das Verhältniß des Vielecks PQRST zum Halbmeſſer OC, und größer als das Verhältniß des Vielecks ABCDEF zu demſelben Halbmeſſer OC.

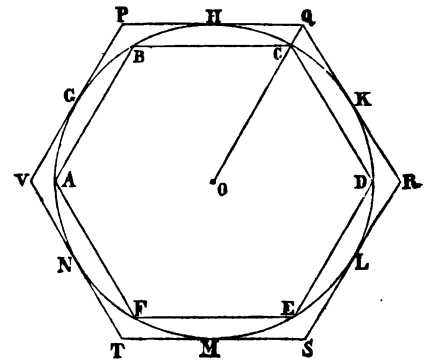


Fig. 2. — Beweis des Verhältniſſes zwiſchen Umfang und Durchmeſſer des Kreiſes.

Hiervon ausgehend hat Vieta, der gegen Ende des 16. Jahrhunderts lebte, das Verhältniß des Durchmeſſers zum Kreisumfange mit der Genauigkeit von 10 Decimalſtellen ausgedrückt[3]). Durch die Unterſuchungen von Adrianus Romanus aus Löwen wurde bald darauf die Genauigkeit weiter getrieben[4]). Dieſer niederländiſche Mathematiker hatte Geduld genug, den Umfang zweier Vielecke zu beſtimmen, von denen das eine dem Kreiſe eingeſchrieben, das andere umſchrieben war, und deren jedes aus 1073741824 Seiten beſtand. Den in Theilen des Halbmeſſers ausgedrückten Längen dieſer beiden Vielecke waren 16 Ziffern gemeinſchaftlich; man kannte alſo von jener Zeit an das Verhältniß des Durchmeſſers zum Kreisumfange bis auf eine Einheit der 15. Decimalſtelle genau.

Ludolph van Ceulen aus Köln[5]) trieb die Genauigkeit nach demſelben Verfahren bis zur 35. Decimalſtelle.

Seitdem iſt man durch kürzere und einfachere Rechnungsverfahren, welche ſich indeſſen im Grunde gleichfalls auf den Satz ſtützen, daß die Länge des Kreisumfangs eingeſchloſſen liegt zwiſchen den Längen der Umfänge der ein- und umſchriebenen Vielecke, zu Näherungen gekommen, welche bei Weitem alles Frühere übertreffen. De Lagny z. B.

bestimmte die Länge des Kreisumfangs, den Durchmesser wiederum als Einheit genommen, bis zur 127. Decimalstelle [6]).

Bis zur 140. Decimale trieb Vega die Annäherung.

In einem Manuscripte, das die Radcliffe-Bibliothek zu Oxford aufbewahrt, soll dies Verhältniß angeblich bis zu 155 Decimalstellen angegeben sein [7]).

Einen praktischen Nutzen haben diese Annäherungen nicht; denn selbst bei den allerfeinsten wissenschaftlichen Anwendungen tritt niemals der Fall ein, nur entfernt bis zu der Genauigkeit fortgehen zu müssen, welche die Zahlen Lagny's, Vega's und des Manuscripts in der Radcliffe-Bibliothek bieten würden. Dies will ich darthun, wenn ich vorher das in Rede stehende Verhältniß hier bis zur 50. Decimale angegeben habe.

Den Durchmesser als Einheit genommen, ist der Kreisumfang [8]):

3,14159 26535 89793 23846 26433
83279 50288 41971 69399 37510 (582...)

Es muß bemerkt werden, daß wenn man bei einer bestimmten Anzahl von Decimalstellen stehen bleibt, die letzte zu klein ist, während dieselbe, um eine Einheit vermehrt, zu groß sein würde. Aus diesem Grunde wird man in allen Fällen zwei Grenzen erhalten, zwischen denen die wahre Länge des Kreisumfangs eingeschlossen liegt. Ist der Durchmesser gleich Eins, so gibt die Zahl 3,1 den Umfang zu klein, 3,2 würde ihn schon zu groß geben; ebenso würde 3,14 ein zu geringes, 3,15 aber ein zu großes Resultat geben; ferner 3,141 eine zu geringe, dagegen 3,142 eine zu große Länge des Kreisumfangs, u. s. f.

Nachdem dies nun feststeht, wollen wir untersuchen, bis zu welcher Genauigkeit man mit Hülfe aller dieser Zahlen im Stande sein würde, den Umfang eines Kreises zu berechnen, der zum Halbmesser hat die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne. Diese Entfernung beträgt etwa 21 Millionen geographische Meilen oder 504000 Millionen Fuß; der Durchmesser des Kreises hat demnach 1 Billion 8000 Millionen Fuß.

Ein Fehler von einer Einheit der ersten Decimale im Verhältniß des Umfangs zum Durchmesser, würde demnach im Umfange einen Fehler gleich dem zehnten Theile des Durchmessers erzeugen, d. h.

100800 Millionen Fuß. Einem Fehler von einer Einheit in der zweiten Stelle wird ein Irrthum von $\frac{1}{100}$ im Umfange, oder von 10080 Millionen Fuß entsprechen. In der dritten Stelle gibt ein Fehler von einer Einheit einen Fehler von $\frac{1}{1000}$ des Durchmessers, d. h. um 1008 Millionen Fuß im Umfange des Kreises. Weiter würde man finden, daß eine Einheit in der sechsten Decimale einen Fehler von $\frac{1}{1000000}$ erzeugt, oder nur von 1008000 Fuß.

Ein Fehler von einer Einheit in der neunten Stelle würde im Umfange einen Fehler von nur 1008 Fuß herbeiführen.

Aus einem Fehler von einer Einheit in der zwölften Stelle würde im Kreisumfange ein Fehler von etwa 1 Fuß hervorgerufen.

Einem Fehler von einer Einheit in der funfzehnten Decimale entspräche im Umfange ein Irrthum von anderthalb Zehntellinien.

Nimmt man endlich achtzehn Ziffern des in Rede stehenden Verhältnisses, so bringt eine fehlerhafte Einheit einen Fehler im Umfange hervor, der etwa $\frac{1}{10000}$ Linie beträgt, also viel weniger als eine Haarbreite.

Wir sind in diesen Schlüssen bei der achtzehnten Decimale stehen geblieben; man begreift leicht, welchen undenkbar kleinen Fehlern man trotz des ungeheuren Umfangs des betrachteten Kreises ausgesetzt sein würde, wollte man diesen Umfang aus den Zahlen, so weit sie gegenwärtig bekannt sind, herleiten.

An Genauigkeit würde man also durchaus nichts gewinnen, wenn man das strenge Verhältniß zwischen Durchmesser und Umfang kännte; man sieht daraus zugleich, in wie großem Irrthum diejenigen befangen sind, welche meinen, die Wissenschaften würden durch die Entdeckung eines solchen Verhältnisses, wenn es überhaupt vorhanden wäre, ein ganz verändertes Ansehen gewinnen.

Wer wenig mit mathematischen Vorstellungen vertraut ist, begreift nur schwer, daß man durch unbegrenztes Vervielfachen der Divisionen nicht solle zu einer Größe gelangen können, die eine genaue Anzahl mal im Diameter und im Umkreise enthalten sei; mit andern Worten, sie glauben nicht an das Vorhandensein incommensura-

beler Größen, d. h. solcher, die kein gemeinschaftliches Maaß haben, denn dies ist der Sinn des Wortes incommensurabel.

Man braucht indessen nur an ein Quadrat zu denken, dessen Seiten die Einheit vorstellen; dann hat die Diagonale, nach mathematischer Vorstellung, zur Länge diejenige Zahl, welche mit sich selbst multiplicirt 2 zum Producte gibt. Diese Zahl ist offenbar keine ganze, weil 1 mit 1 multiplicirt, 1 zum Producte gibt, während die nächstfolgende ganze Zahl 2, mit sich selbst multiplicirt, 4 zum Producte hat. Welche Ausdehnung man nun aber auch dem die Einheit begleitenden Bruche geben mag, das Product dieser gebrochenen Zahl wird niemals 2 sein; doch kann man dem Resultate so nahe kommen als man will.

Wenn man ein so einfaches, so bekanntes Beispiel von Incommensurabilität vor Augen hat, wie kann man nur Bedenken tragen anzunehmen, daß derselbe Fall beim Verhältnisse des Durchmessers eines Kreises zu seinem Umfange eintritt?

Das Vorhandensein dieser Incommensurabilität ist von Lambert und später von Legendre mathematisch bewiesen worden; doch ist dieser Beweis zu verwickelt, als daß davon an dieser Stelle eine selbst nur oberflächliche Vorstellung gegeben werden könnte.

Fünftes Kapitel.

Kreisfläche.

Die Fläche eines Kreises ist, dem mathematischen Ausdrucke zufolge, gleich dem Producte aus der Länge des Umfangs und dem halben Radius. Einen Kreis von (in Metern) gegebenem Durchmesser quadriren, heißt die Anzahl von Quadraten, jedes von einem Meter Seite, bestimmen, die zusammengenommen der Kreisfläche gleich sind.

Kännte man also, bei gegebenem Durchmesser, gewissermaßen durch Eingebung, den genauen Umfang, so würde man den Inhalt der Fläche des kreisförmigen Raumes aus diesen beiden Zahlen einfach herleiten durch Multiplication der Größe des Umfangs in den vierten

Theil des Durchmeſſers oder in die Hälfte des Halbmeſſers. Da man indeſſen den Umfang nur annäherungsweiſe aus dem Durchmeſſer berechnen kann, ſo läßt ſich die fragliche Fläche nicht mit mathematiſcher Schärfe finden. Mit Hülfe der oben angeführten Verhältnißzahlen erhält man jedoch das Reſultat mit aller wünſchenswerthen Genauigkeit. Es läßt ſich z. B., wenn man will, der Flächeninhalt eines Kreiſes von 21 Millionen geographiſcher Meilen Halbmeſſer genau berechnen bis auf das Raumtheilchen, welches eine Milbe darauf einnehmen würde.

Die ganze Sippſchaft der Kreisquadrirer ſucht alſo unermüdlich eine Auflöſung, die heutzutage als unmöglich bewieſen iſt, und die überdies ſelbſt dann ohne praktiſches Intereſſe wäre, wenn ſo thörichte Hoffnungen durch Erfolg gekrönt werden ſollten. Ich laſſe es bei dieſen Betrachtungen bewenden; in der Ueberzeugung, daß dadurch, wie weit ich ſie auch ausſpinnen wollte, die geiſtig Kranken nicht geheilt würden, welche die Quadratur des Kreiſes um jeden Preis entdecken wollen. Dieſe Krankheit iſt uralt, wie man in den Vögeln des Ariſtophanes nachleſen kann [9]).

In allen Ländern haben die Akademiker bei Gelegenheit dieſes Kampfes mit den Kreisquadrirern die Bemerkung gemacht, daß die Krankheit ſich mit Annäherung jedes Frühlings heftig verſchlimmert.

Sechſtes Kapitel.

Ueber die Vortheile, die mit der Anwendung großer Kreiſe verknüpft ſind.

Wir denken uns einen Kreis von einem Meter oder von tauſend Millimetern im Durchmeſſer.

Der Umfang dieſes Kreiſes wird 3142 Millimeter betragen, und ein Grad auf demſelben wird $\frac{3142}{360}$ Millimeter einnehmen. Es ſind dies etwas weniger als 10 Millimeter; wir wollen aber, um eine runde Zahl zu haben, genau 10 Millimeter annehmen. In dem Falle wird eine Minute den 60ſten Theil von 10 Millimetern betragen, d. h.

$^1/_6$ Millimeter; eine Secunde oder der 60ste Theil einer Minute, wird eine Ausdehnung von $\frac{1}{360}$ Millimeter haben, welches schon eine Größe ist, die man sicher nicht mit bloßem Auge, sogar nicht mit einer einfachen Loupe wahrzunehmen im Stande ist.

Auf einem Kreise von doppelt so großem Durchmesser, dessen Halbmesser also ein Meter beträgt, werden die Werthe eines Grades, einer Minute und einer Secunde doppelt so groß sein.

Dreifach so groß würden dieselben Werthe auf einem Kreise sein, dessen Halbmesser dreimal so groß, u. s. f.

Aus diesen numerischen Vergleichungen treten die Vortheile der Kreise von beträchtlichem Durchmesser ganz einleuchtend hervor.

Siebentes Kapitel.

Begriffe und Definitionen, die geradlinigen Winkel betreffend.

Zwei sich schneidende gerade Linien bilden einen Winkel. Den Vereinigungspunkt beider nennt man den Scheitel, und die beiden Geraden heißen die Schenkel des Winkels. Der Winkel bleibt offenbar ungeändert, welche Länge man den Schenkeln auch geben mag.

Da man einen Winkel vergrößern und verkleinern kann, muß er sich nothwendig auch messen lassen. Zu diesem Zwecke schlägt man nun folgendes Verfahren ein.

Nachdem man einen Kreisumfang in 360 Grade getheilt hat, und jeden Grad, wenn man will, in 60 Minuten, legt man den Scheitel des zu messenden Winkels in den Mittelpunkt des Kreises, und zwar so, daß der eine Schenkel mit demjenigen Halbmesser des Kreises zusammenfällt, der nach dem Nullpunkte der Theilung gerichtet ist, oder, was dasselbe ist, nach dem Theilpunkte 360. Darauf prüft man, welchem Punkte dieses getheilten Kreises der andere Schenkel des Winkels, den man wo nöthig verlängert, entspricht; trifft nun der letztere Schenkel den Theilpunkt 1 auf dem Kreise, während der erste durch den Nullpunkt geht, so ist der Winkel 1 Grad groß. Trifft aber,

bei sonst unverändertem Zustande der Dinge, der zweite Schenkel die Theilstriche 2, 3, 20, 40..., so faßt der Winkel 2, 3, 20, 40... Grade u. s. f. Entspricht dagegen der zweite Schenkel nicht genau einer der großen Theilungen auf dem Kreise, so wird der Winkel zusammengesetzt sein aus einer Anzahl von Graden und einer gewissen Anzahl von Minuten, welche diejenige Unterabtheilung des Grades in 60 Theile angibt, auf welche der zweite Schenkel hinweist. So wird man also, je nach dem vorliegenden Falle, zu Winkeln kommen von 2° 20′, 2° 25′, 2° 30′ oder 2° 31′.

Es leuchtet ein, daß die Winkel auf diese Weise gemessen, dieselben bleiben, welches immer der Halbmesser des getheilten Kreisumfanges sei, den man zur Vergleichung anwendet; denn verhielte es sich anders, so würde dies Meßverfahren unlogisch und unzulässig sein. Wir haben jedoch vorhin bereits gesehen, daß die Grade der Zahl nach dieselben bleiben, und daß mit wachsenden Halbmessern der zum Messen angewandten Kreise, nur die Längen der von jedem Grade eingenommenen Bögen zunehmen.

Man nennt alle Winkel *spitz*, deren Maaß zwischen 0 und 90° liegt; bei 90° sagt man, der Winkel sei ein *rechter*, und über diese Grenze hinaus bis zu 180° hin, nennt man den Winkel *stumpf*. Bei 180° liegen die beiden Schenkel so, daß der eine in die Verlängerung des andern fällt.

Von den beiden Schenkeln eines rechten Winkels, der also 90° faßt, sagt man, sie stehen senkrecht aufeinander. Ist der Winkel dagegen spitz oder stumpf, so treffen sich die beiden Schenkel, die ihn einschließen, in schräger Richtung.

Die beiden Gesichtslinien, die von einem bestimmten Punkte aus nach den beiden entgegengesetzten Rändern eines Objectes gehen, bilden einen Winkel, den man den *Gesichtswinkel* des Objectes nennt. Von dieser Bezeichnung wird im Verfolge unserer astronomischen Untersuchungen häufig Gebrauch gemacht werden; man muß sich also die wahre Bedeutung derselben merken.

Oben haben wir bereits gesehen, daß wenn die abgewickelte Länge eines Grades auf einem Kreise vom Halbmesser Eins bekannt ist, die entsprechende auf einem Kreise von doppeltem Halbmesser doppelt so

groß ist, dagegen dreimal so groß auf einem Kreise von dreifachem Halbmesser, zehnmal so groß auf einem Kreise von zehnfachem Halbmesser, u. s. f.

Die Länge, welche auf einem Kreise vom Halbmesser Eins einen Grad einnahm, wird nur einen halben Grad einnehmen, sobald man sie an einen Kreis anlegt, dessen Halbmesser gleich 2 ist, einen Drittelgrad auf einem Kreise vom Halbmesser 3, einen Zehntelgrad endlich auf einem Kreise vom Halbmesser 10.

Die Krümmung eines Bogens von einem Grade ist so unbedeutend, daß wir obigen Satz auf Linien ausdehnen können, welche keine merkliche Krümmung besitzen, und also behaupten dürfen, daß wenn eine Linie, senkrecht gesehen, einen Winkel von 1^0 faßt in der Entfernung 1, sie in der Entfernung 2 einen Winkel von $^1/_2{}^0$ fassen wird, in der Entfernung 3 einen Winkel von $^1/_3{}^0$, in der Entfernung 10 einen Winkel von $^1/_{10}{}^0$, u. s. f.

Auf diese Bemerkung besonders gründet sich ein Verfahren, das sehr häufig in der Astronomie in Anwendung kommt, weil man hiernach im Stande ist zu beurtheilen, ob man sich einem Gegenstande von unveränderlicher Größe genähert oder von ihm entfernt hat, und sogar anzugeben vermag, in welchem Verhältnisse zur ursprünglichen Entfernung des Gegenstandes, die Entfernungen sich geändert haben.

Wenn wir beispielshalber zwei Gesichtslinien ziehen, welche die Sonnenränder berühren, den einen nach dem obersten, den andern nach dem untersten Punkte, so werden wir finden, daß der Winkel, unter dem uns dieser große Himmelskörper erscheint, etwa $^1/_2$ Grad beträgt. Aber nicht zu allen Zeiten im Jahre wird dieser Winkel von derselben Größe sein: seinen größten Werth wird er im Winter erreichen, seinen kleinsten im Sommer, woraus wir den Schluß ziehen, daß uns die Sonne im Winter näher steht als im Sommer. Wenn wir später dahin kommen, wird erklärt werden, wie ein derartiges Ergebniß vereinbar ist mit der höhern Temperatur, welche wir zur Sommerzeit empfinden.

So lebhaft ist mein Wunsch, der Leser möge der Gesichtswinkel und ihrer Aenderungen genau eingedenk sein, daß ich der Versuchung nicht widerstehen will hier zu zeigen, wie die Betrachtung dieser Winkel ein einfaches und genaues Mittel bietet, die Entfernung eines un-

zugänglichen Gegenstandes zu bestimmen. Ermitteln wie weit entfernt ein unzugänglicher Gegenstand sei, scheint im ersten Augenblicke unter die Zauberkünste zu gehören, und dennoch kann Nichts einfacher sein.

Ein Beobachter befindet sich an der einen Seite eines nicht zu durchschreitenden Flusses, dessen Breite bestimmt werden soll (Fig. 3.).

Er visirt nach einem Objecte A am gegenüberliegenden Ufer, vielleicht einem Baumstamm, dessen Querdurchmesser von B gesehen, einen Winkel von 1^0 macht. Hierauf entfernt er sich solange vom ersten Standpunkte, indem er sich fortwährend auf der geraden Linie hält, welche diesen Punkt mit dem Zielpunkte verband, bis (in B′) der Winkel, unter dem der Baumstamm erscheint, nur noch halb so groß ist, und also einen halben Grad beträgt. Auf diesem zweiten Standpunkte ist nach dem Obigen die Entfernung vom Baumstamme doppelt so groß, als sie am ersten Punkte war, und es ist demnach die erste Station von der zweiten um ebenso viel Meter entfernt, als die erste Station vom Baumstamme, diesem unzugänglichen Zielpunkte, absteht. Mißt man also an demjenigen Ufer, wo sich der Beobachter befindet, und wo er beliebige Operationen ausführen kann, die gegenseitige Entfernung der beiden Stationen, auf denen er den Gesichtswinkel des Baumstamms bestimmt hat, so hat er die genaue Breite des Flusses, ohne daß er genöthigt wäre das gegenüberliegende Ufer zu betreten.

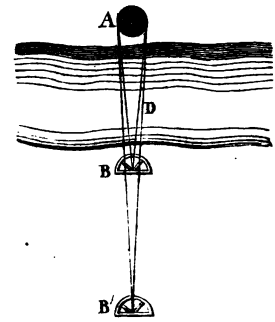


Fig. 3. — Messung der Breite eines Flusses.

Entfernt sich der Beobachter soweit vom Flußufer, daß ihm der Baumstamm nur noch unter dem Winkel von $^1/_3$ Grad erscheint, so beträgt die Entfernung dieser dritten Station vom Zielpunkte dreimal soviel, als die Entfernung betrug, in welcher sich der Beobachter von demselben Punkte befand, als er am Flußufer stand. Nennt man die Breite des Flusses D, so ist die Entfernung des Flusses von der dritten Station gleich 2D, und wenn man also diese letztere Entfernung, deren Kenntniß sich der Beobachter jedenfalls verschaffen kann, mit 2 dividirt, so wird die gesuchte Entfernung D gefunden.

Ich will Nichts weiter über dieſe Methode hinzufügen, indem das Vorhergehende keinen andern Zweck hat, als dem Leſer recht anſchaulich zu machen, wie es möglich iſt aus einfachen Meſſungen, in Verbindung mit der Lehre von den Geſichtswinkeln, die Entfernung unzugänglicher Gegenſtände genau zu beſtimmen, ohne daß es dabei nöthig ſei, die wirklichen Durchmeſſer dieſer Gegenſtände in Metern zu kennen.

Achtes Kapitel.

Lehrſatz über die Winkel um einen Punkt.

Die Summe der um einen Punkt C auf einer und derſelben Seite einer geraden Linie AB gebildeten Winkel beträgt 180°. Wir legen den Punkt C in den Mittelpunkt desjenigen Kreiſes, der zum Winkelmeſſen dienen ſoll. Die Linie AB, über welcher ſich die Winkel befinden, wird ein Durchmeſſer dieſes Kreiſes; und da folglich die Punkte A und B Theilpunkten entſprechen, welche von einander 180° abſtehen, ſo wird die Theilung auf dem Kreiſe die Winkel ACD, DCE, ECF, FCB meſſen (Fig. 4.), und deren Summe wird offenbar 180° betragen, was hier bewieſen werden ſollte.

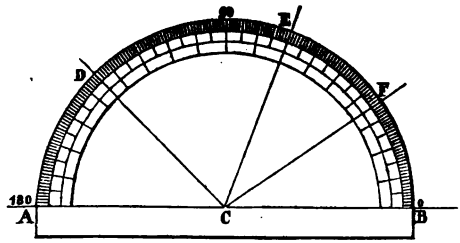


Fig. 4. — Beweis des Lehrſatzes über die Summe der Winkel um einen Punkt.

Neuntes Kapitel.

Erläuterungen über die Parallellinien und über die Winkel, welche durch solche Linien entstehen, wenn sie von einer dritten geschnitten werden. — Summe der Winkel eines Dreiecks. — Winkel zwischen zwei Ebenen.

Man nennt zwei in derselben Ebene gezogene Linien parallel, wenn sie sich, wieweit immer verlängert, nicht schneiden.

Es sei AB (Fig. 5.) eine Gerade, die im Punkte A eine andere Gerade AC schneidet. Man denke sich ferner aus einer biegsamen aber undehnbaren Fläche, z. B. aus einer Eisen- oder Kupferplatte einen Winkel B′A′C′ ausgeschnitten, der dem Winkel BAC gleich ist. Diesen Winkel B′A′C′ kann man nun auf den Winkel BAC dergestalt auflegen, daß er vollständig mit ihm zusammenfällt; es ist dazu nur nöthig, daß A′ mit A, A′C′ mit AC zusammenfalle, denn daraus folgt sogleich das unbegrenzte Zusammenfallen von A′B′ mit AB. Ist diese Deckung einmal hergestellt, so lasse man den Winkel B′A′C′ von links nach rechts fortrücken, in der Weise jedoch, daß der Schenkel A′C′ fortwährend mit dem Schenkel AC zusammenfällt. Es wird jedem hoffentlich einleuchten, daß wenn dies Fortrücken etwa von links nach rechts stattfindet, so daß der Punkt A sich nach A′ bewegt, die ganze Seite A′B′ sich gleichzeitig verschiebt, welche Länge man ihr auch gegeben habe.

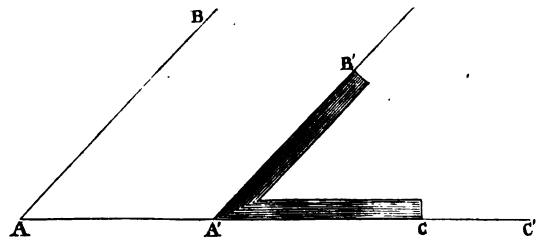


Fig. 5. — Gleichheit der Gegenwinkel, die durch Parallellinien gebildet werden.

Nach der vorausgeschickten Erklärung sind also die Schenkel AB und A′B′ parallel; es sind aber, nach der Voraussetzung, die Winkel BAC und B′A′C′ einander gleich, und wir sind also berechtigt zu behaupten, daß wenn zwei Parallellinien AB und A′B′ von einer dritten

Geraden AC geschnitten werden, die von den beiden Parallelen und der Schneidenden nach derselben Seite hin gebildeten Winkel einander gleich sind. In der Geometrie nennt man diese Winkel Gegenwinkel.

Durch einen Punkt A″ der Geraden A′B′ (Fig. 6) ziehe man die Linie A″C″ parallel mit AC, welche letztere von A′B′ geschnitten wird. Aus dem Gesagten geht hervor, daß der Winkel B′A″C″ dem Winkel B′A′C gleich sein wird, indem diese beiden Winkel der Definition von Gegenwinkeln entsprechen. Es ist aber der Winkel B′A′C dem Winkel BAC gleich. Zwei Größen, welche einer dritten gleich sind, müssen offenbar untereinander gleich sein; deßhalb sind die Winkel A″ und A, von denen jeder dem Winkel A′ gleich ist, untereinander gleich. Die beiden Schenkel des Winkels A″ sind nach der Construction der Reihe nach parallel den Schenkeln, welche den Winkel A machen. Wir können also Folgendes als allgemeinen Grundsatz aufstellen: zwei Winkel sind genau gleich, wenn sie von Parallellinien gebildet werden und nach derselben Seite hin liegen.

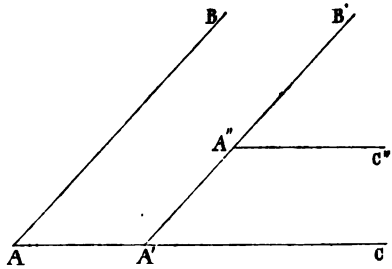


Fig. 6. — Gleichheit der nach derselben Seite hin liegenden, von Parallellinien gebildeten Winkel.

Lassen wir jetzt zwei Parallelen AB und CD (Fig. 7) von einer dritten Linie EF geschnitten werden. Der Winkel BJG, den die Gerade EF bildet, ist dem Winkel DGF gleich, indem beide Gegenwinkel sind.

Der Winkel DGF ist dem Winkel CGJ gleich, weil sie Scheitelwinkel sind; mithin ist der Winkel CGJ dem Winkel BJG gleich. Die beiden genannten Winkel liegen beide zwischen den Parallelen oder sind innere Winkel, und heißen Wechselwinkel,

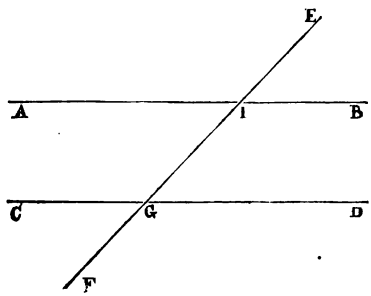


Fig. 7. — Gleichheit der durch Parallellinien gebildeten inneren Wechselwinkel.

weil sie zu beiden Seiten der Schneidenden liegen; man leitet daraus den Satz her: schneidet eine Gerade zwei Parallellinien, so bildet sie mit ihnen innere Wechselwinkel, die untereinander gleich sind.

Gestützt auf diese Daten können wir den Hauptsatz der ganzen Geometrie beweisen (Fig. 8) über die Summe der drei Winkel eines geradlinigen Dreiecks von beliebigen Seiten. Dieser Satz lautet:

Die Summe der drei Winkel in irgend einem geradlinigen Dreieck beträgt stets 180°.

Es sei ABC (Fig. 8) ein beliebiges geradliniges Dreieck. Man verlängere die Seite AC in der Richtung AE, und ziehe durch den Punkt C eine Linie CD parallel zur Linie AB.

Ich will beweisen, daß die drei Winkel am Punkte C, die auf derselben Seite von der Linie AC gelegen sind, zusammen den drei Winkeln des Dreiecks ABC gleich sind.

In der That ist der Winkel BCA einer der drei Winkel des Dreiecks; der Winkel BCD ist gleich dem Winkel ABC, als innere Wechselwinkel, hervorgegangen aus dem Durchschnitte der beiden Parallellinien AB und CD durch die Linie BC. Der Winkel DCE ist gleich dem Winkel BAC, als Gegenwinkel, hervorgegangen aus dem Durchschnitte der beiden Parallellinien AB und CD durch die Linie AE. Auf diese Weise sind wir durch eine ungemein einfache Construction, welche im Ziehen der Parallellinie CD besteht, im Stande gewesen, am Punkte C drei Winkel zu vereinigen, welche denen des ursprünglichen Dreiecks BAC gleich sind. Nun haben wir aber bereits gesehen, daß die Summe aller Winkel um einen Punkt C einer Geraden AE 180° beträgt, wenn die Winkel sämmtlich auf der einen Seite dieser Linie liegen.

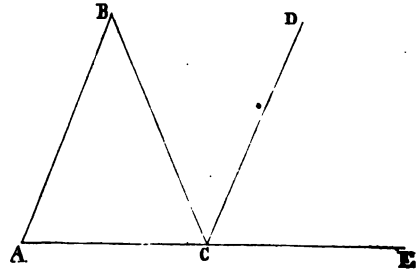


Fig. 8. — Die Summe der Winkel eines Dreiecks beträgt 180 Grade oder zwei rechte Winkel.

Gern möchte ich den uralten Geometer nennen, der die schöne Eigenschaft entdeckt hat, welche ich soeben bewiesen habe; aber die Ge-

schichte hat uns über diesen Punkt Nichts überliefert, während sie doch in ihren Jahrbüchern das Andenken an so viele unbedeutende Thaten verewigt hat, ja selbst an so viele Verbrechen, welche den menschlichen Geist und das menschliche Herz brandmarken. Ich muß mich also auf die Bemerkung beschränken, daß dieser Satz über die Winkelsumme im Dreieck der Schlüssel zu den größten Entdeckungen geworden ist, und daß ohne ihn die Astronomie insbesondere gar nicht existiren oder sich auf nichtssagende, werthlose Anfangsgründe beschränken würde.

Man nennt jedes Dreieck, in welchem ein Winkel von 90° oder ein rechter Winkel vorkommt, ein rechtwinkliges Dreieck; die dem rechten Winkel in einem rechtwinkligen Dreieck gegenüberstehende Seite heißt die Hypotenuse. Bildet man drei Quadrate, das eine über der Hypotenuse eines rechtwinkligen Dreiecks, die beiden andern über den Seiten, welche den rechten Winkel einschließen, so ist die Fläche des ersteren Quadrats gleich der Summe der Flächen der beiden kleineren Quadrate.

Dies ist der berühmte Lehrsatz vom Quadrat der Hypotenuse, dessen Inhalt sogar in die Sprache des gewöhnlichen Lebens übergegangen ist. Jedermann kennt die Redensart: „das ist einleuchtend wie das Quadrat der Hypotenuse."

Man kann diesen Satz über das Quadrat der Hypotenuse auch folgendermaßen aussprechen, und in dieser andern Gestalt werden wir davon Gebrauch machen, wenn wir beispielsweise suchen werden die Höhe der Mondberge zu bestimmen:

Mißt man die Länge der Hypotenuse mittelst einer beliebigen linearen Einheit, z. B. dem Millimeter, und mißt man ebenso die beiden Seiten, welche den rechten Winkel einschließen, so ist das Quadrat der ersten Zahl ebenso groß als die Summe der Quadrate der beiden andern Zahlen.

Die Entdeckung dieses Satzes vom Quadrat der Hypotenuse schreibt man Pythagoras zu. Einigen Geschichtschreibern zufolge soll er darüber so außer sich gewesen sein, daß er hundert Ochsen opferte, um sich den Göttern, die ihm den glücklichen Gedanken eingeflößt hatten, dankbar zu bezeigen. Andere Schriftsteller haben die

Wahrheit dieſer Erzählung jedoch bezweifelt, indem ſie ſich wohl mit Grund auf den geringen Wohlſtand des Weltweiſen berufen, und an die Grundſätze erinnern, die er auf ſeiner indiſchen Reiſe angenommen hatte, und denen zufolge es als ein Verbrechen galt das Blut der Thiere zu vergießen.

Ebene Flächen können, wie gerade Linien, einander parallel ſein oder ſich ſchneiden. In letzterem Falle entſtehen im gemeinſchaftlichen Durchſchnitte Winkel, welche mehr oder weniger geöffnet ſind, Winkel von 1^0, 2^0, 3^0 u. ſ. f., jenachdem der größte geradlinige Winkel, den man zwiſchen die beiden Ebenen einfügen kann, 1^0, 2^0, 3^0 u. ſ. f. beträgt. Den Werth desjenigen geradlinigen Winkels, welcher den Winkel zwiſchen zwei Ebenen mißt, beſtimmt man durch ein äußerſt einfaches, geometriſches Verfahren; durch einen Punkt der gemeinſchaftlichen Durchſchnittslinie zieht man nämlich zwei Senkrechte, von denen die eine in der einen Ebene, die andere in der andern Ebene liegt.

Zehntes Kapitel.

Von der Kugel.

Eine Kugel iſt eine krumme Oberfläche, in welcher jeder Punkt gleichweit abſteht von einem inneren Punkte, welchen man Mittelpunkt nennt. Da alle Punkte eines Kreisumfangs gleichweit vom Mittelpunkte abſtehen, ſo wird, wenn man einen ſolchen Kreisumfang um einen ſeiner Durchmeſſer dreht, eine Kugel erzeugt, deren Halbmeſſer dem des beweglichen Kreiſes gleich iſt.

Weil nun durch Bewegung eines Kreisumfangs dieſelbe Kugel erzeugt werden muß, gleichviel welchen unter den Durchmeſſern man zur Umdrehungsaxe genommen hat, ſo iſt klar, daß, welche Lage immer eine Ebene hat, von der man die Kugel ſich geſchnitten denkt, vorausgeſetzt, daß ſie ſtets durch den Mittelpunkt geht, die Durchſchnitte Kreiſe ergeben werden von gleichem Halbmeſſer, alle mit dem erzeugenden Kreiſe übereinſtimmend.

Es sei ACB (Fig. 9) der Durchmesser, um welchen man einen Kreis dreht, in der Absicht, eine Kugel zu erzeugen. D sei ferner ein Punkt auf dem Kreisumfange. Während der Umdrehung um AB wird der Punkt D unabänderlich auf der Geraden DE bleiben, senkrecht über AB, in stets gleicher Entfernung vom Punkte E; er wird also einen Kreisumfang vom Halbmesser DE beschreiben.

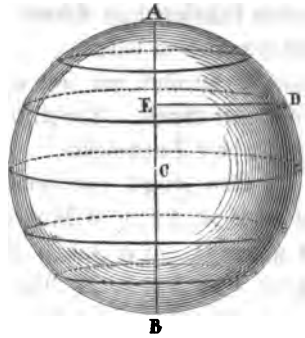


Fig. 9. — Erzeugung einer Kugel. — Größte und kleine Kreise.

Ganz dieselbe Betrachtung gilt für jeden Punkt eines erzeugenden Kreises in Bezug auf seinen Durchmesser. Daraus folgt, daß alle Schnitte der Kugelfläche mit Ebenen Kreise ergeben, welche um so größere Halbmesser haben, als die schneidenden Ebenen dem Mittelpunkte näher gelegen sind.

Diejenigen Schnitte, welche erzeugt werden, wenn die schneidenden Ebenen durch den Mittelpunkt der Kugel gehen, sind alle untereinander gleich und heißen größte Kreise. Die anderen Schnitte, welche ebenfalls Kreise sind, werden kleine Kreise genannt.

Indem man alle kleinen Kreise ins Auge faßt, deren Ebenen auf dem Durchmesser des erzeugenden Kreises senkrecht stehen, wird man bemerken, daß man annehmen kann, die Kugel bestehe aus der Gesammtheit der Kreise, deren Halbmesser vom Mittelpunkte bis zur Oberfläche hin ununterbrochen abnehmen.

Die Kugeloberflächen verhalten sich wie die Quadrate der zugehörigen Halbmesser oder Durchmesser. So gehört zu einer Kugel, deren Halbmesser doppelt so groß ist als der Halbmesser einer andern, eine viermal so große Oberfläche, als die der verglichenen. Ist der Halbmesser dreifach, so ist die Oberfläche neunmal größer; endlich gehört zu einer Kugel von zehnfachem Halbmesser eine hundertmal größere Oberfläche. Dieser Satz wird in Anwendung kommen, wenn wir uns die Aufgabe stellen, die räumlichen Oberflächen der verschie-

denen kugelförmigen Körper untereinander zu vergleichen, welche unſer Planetenſyſtem bilden.

Vergleichen wir jetzt untereinander den Inhalt von Kugeln verſchiedener Größe. Dieſer Inhalt ändert ſich wie die Cuben der Halbmeſſer oder Durchmeſſer.

Eine Kugel von doppeltem Halbmeſſer hat einen Inhalt, der $2 \times 2 \times 2$ d. h. 8 Mal den Inhalt einer Kugel vom Halbmeſſer 1 übertrifft. Der Inhalt einer Kugel von dreifachem Halbmeſſer iſt $3 \times 3 \times 3$ d. h. 27 Mal größer als der Inhalt einer Kugel vom Halbmeſſer 1. Eine Kugel vom Halbmeſſer 10 hat einen Inhalt, der $10 \times 10 \times 10$ d. h. 1000 Mal größer iſt als der Inhalt einer Kugel vom Halbmeſſer 1.

Unſere aſtronomiſchen Unterſuchungen werden ſehr häufig Gelegenheit bieten, von dieſem Lehrſatze Anwendungen zu machen.

Wir denken uns nun auf einer Kugel, deren Mittelpunkt in O iſt (Fig. 10), drei Punkte A, B, C, in größerer oder geringerer Entfernung von einander; legen wir dann durch je zwei von dieſen Punkten und durch den Mittelpunkt der Kugel drei Ebenen, ſo folgt, daß die drei Punkte A, B, C auf der Kugelfläche durch drei Bogen größter Kreiſe, AB, BC und CA verbunden werden.

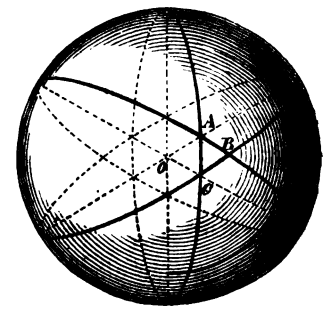


Fig. 10. — Sphäriſches Dreieck.

Durch ihre Durchſchnitte miteinander, beſtimmen dieſe drei Bogen auf der Kugel einen Raum, den man allgemein ein ſphäriſches Dreieck nennt.

Sobald von den ſechs Stücken, aus denen dieſes ſphäriſche Dreieck beſteht, nämlich den drei Seiten AB, BC und CA, und den drei Winkeln, welche in A, B und C durch die dieſe Punkte verbindenden Kreisbogen gebildet werden, — ſobald von dieſen ſechs Stücken drei bekannt ſind, kann man jedesmal die drei übrigen beſtimmen.

Die Formeln, durch welche man die Winkel eines ſphäriſchen Dreiecks aus den bekannten drei Seiten findet, oder die Seiten aus

den gegebenen drei Winkeln u. ſ. w., lehrt die ſphäriſche Trigonometrie.

Man wird mir ohne Weiteres glauben müſſen, daß es möglich iſt, die verſchiedenen Aufgaben zu löſen, welche dieſer Theil der Geometrie darbietet.

Elftes Kapitel.

Von den Ellipsen und Parabeln.

A und B (Fig. 11 und 12) mögen zwei feſte Punkte bezeichnen, an welche man die beiden Enden eines biegſamen aber undehnbaren Fadens ACB befeſtigt, deſſen Länge die Entfernung AB übertrifft. Spannt man dieſen Faden mittelſt eines ſehr feinen Stifts (Fig. 11), ſo werden ſeine beiden Theile entweder das Dreieck ABC (Fig. 12) bilden, in welchem AC und BC gleich ſind, oder beliebige Dreiecke wie ADB, AEB u. ſ. w., in welchen die Seiten AD und BD, AE und BE um ſo ungleicher ſind, je näher der Stift dem Punkte S oder P geführt wird.

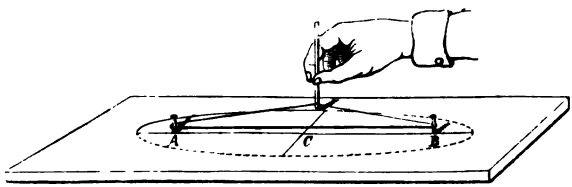


Fig. 11. — Graphiſches Verfahren eine Ellipſe zu zeichnen.

Geht man von der rechten Seite der Linie AB zur linken über, ſo erzeugt der Stift beim Fortbewegen eine Folge von Dreiecken, welche der Reihe nach den auf der andern Seite gelegenen ähnlich ſind. Aber in beiden Gruppen von Dreiecken wird jedes Mal die Summe der Abſtände des Scheitels von den beiden feſten Punkten A und B eine unveränderliche Größe haben, denn dieſe Summe iſt ja die Geſammtlänge des Fadens.

Unter allen Stellungen, welche der Stift einnehmen kann, verdienen zwei besondere Erwähnung: es sind diejenigen, in welchen die durch die Grundlinie AB und die beiden ausgespannten Theile des Fadens gebildeten Dreiecke in wirkliche gerade Linien übergehen, ich meine die beiden Fälle, wo die Spitze bei ihrer Fortbewegung in den Punkten S oder P auf der Verlängerung der Linie AB ankommt.

Sei zuerst der Stift in S, so wird sich der Faden von B nach S erstrecken, dort um den Stift herumgehen und in derselben Richtung von S nach A zurückkehren. Auf der Strecke von A bis S liegen also zwei Theile des Fadens zurückgebogen übereinander, und es ist folglich der Abstand von B nach S gleich der Gesammtlänge des Fadens verringert um den zurückgebogenen Theil, d. h. um die Größe AS.

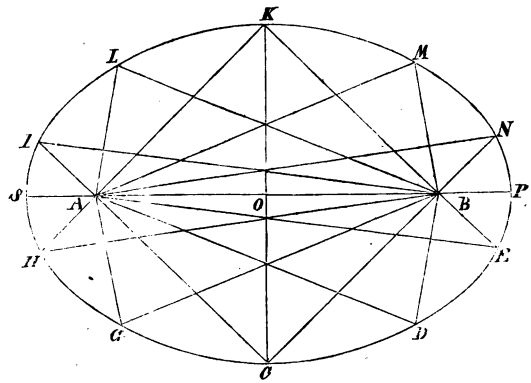


Fig. 12. — Eigenschaften der Ellipse.

Befindet sich dagegen die Spitze in P, so wird die Entfernung von A nach P ebenfalls gleich sein der ganzen Länge des Fadens verringert um BP. Die Entfernung BP kann aber nicht verschieden sein von AS, weil rechts und links Alles symmetrisch sein muß. Legt man also zur Entfernung BS, welche nur um die Größe AS geringer war als die Gesammtlänge des Fadens, AS oder das ihm gleiche Stück BP hinzu, so wird die Summe, die man erhält, dieser ganzen Länge gleich sein: es ist also BS vermehrt um AS, d. h. SP oder, was dasselbe ist, die Entfernung der beiden entgegengesetzten Lagen, welche

der bewegliche Stift auf der Linie AB einnimmt, der Gesammtlänge des Fadens gleich.

Die krumme Linie, welche die Bewegung des Stiftes C beschreibt, wird in der Geometrie eine *Ellipse* genannt; in den Künsten bezeichnet man sie häufig als ein *Oval* und verzeichnet sie mittelst eines Fadens durch das soeben beschriebene Verfahren.

Diese krumme Linie hat die größte Erstreckung in der Richtung der geraden Linie, welche die Punkte A und B verbindet.

Diese Punkte A und B heißen die *Brennpunkte der Ellipse*.

Die Linie SP ist die *große Axe*.

Die Punkte S und P, in welchen die große Axe die krumme Linie trifft, sind die beiden *Scheitel*.

Die Abstände AS oder BP zwischen den Brennpunkten und den Scheiteln heißen die *kleinsten Abstände*.

Der Punkt O, der auf der Mitte von AB liegt oder, was dasselbe ist, auf der Mitte von SP, heißt der Mittelpunkt der Ellipse. Wie man bemerkt, hat diese Bezeichnung im vorliegenden Falle nicht dieselbe Bedeutung wie beim Kreise, denn es stehen die Punkte auf dem Umfange der Ellipse keineswegs alle gleichweit von diesem Mittelpunkte ab.

Die Linie CK, welche senkrecht auf AB durch den Punkt O geht, nennt man die *kleine Axe*; ihre Endpunkte C und K sind die beiden andern Scheitel der krummen Linie.

Die Strecke AO zwischen dem Mittelpunkte und einem der Brennpunkte nennt man die *Excentricität*. Je kleiner dieselbe ist, desto mehr nähert sich offenbar die Gestalt der Ellipse derjenigen des Kreises.

Sobald man die beiden Brennpunkte und die große Axe kennt, ist eine Ellipse vollständig bestimmt. Um sich davon zu überzeugen, ist es nur nöthig sich zu erinnern, daß die große Axe die ganze Länge des die krumme Linie beschreibenden Fadens ist, und daß die Brennpunkte diejenigen Punkte sind, wo man die beiden Enden des Fadens befestigen muß.

Dies vorausgesetzt, lassen wir die beiden Punkte A und S (Fig. 13) unverändert, und denken uns den zweiten Brennpunkt B und den zweiten Scheitel P gleichzeitig auf der Verlängerung der Axe AB in immer größere und größere Entfernungen fortrückend.

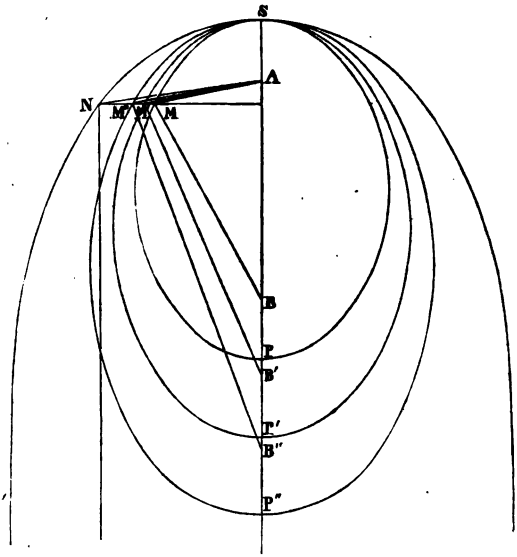


Fig. 13. — Eigenschaften der Parabel.

Die neuen Lagen von B und P, der Reihe nach in B′ und P′, in B″ und P″ . . ., werden Ellipsen zugehören, welche sämmtlich die ursprüngliche umschließen. Wenn man den zweiten Brennpunkt in unendliche Entfernung hinausrückt — eine Annahme, welche sich in der Rechnung verwirklichen läßt, — wenn man, kurz gesagt, die große Axe der Ellipse unendlich setzt, so heißt die dann entstehende Linie eine Parabel. Nach dem Obigen überzeugt man sich leicht, daß die Parabel nicht eine geschlossene Curve ist. Die geraden Linien MB, M′B′, M″B″ . . ., welche man von den Punkten M, M′, M″ . . . der verschiedenen Ellipsen nach den zweiten Brennpunkten B, B′, B″. . . ziehen kann, neigen sich mehr und mehr gegen die Axe SA, während sich die Ellipse verlängert, und die gerade Linie endlich, welche man

vom Punkte N der Parabel nach dem im Unendlichen liegenden Brennpunkte zieht, wird der Axe SA dieser Curve parallel.

Geht man von einem Scheitel der Ellipse aus, so entfernen sich die Punkte auf dem Umfange mehr und mehr von der die beiden Brennpunkte verbindenden Linie, und die größte Entfernung findet am Endpunkte der kleinen Axe statt. Sobald man über diesen Punkt hinausgeht, nähert sich umgekehrt die krumme Linie wieder der großen Axe, die sie darauf im zweiten Scheitel von Neuem trifft. Anders verhält es sich bei der Parabel: je weiter man sie fortführt, desto weiter entfernen sich ihre Zweige von einander.

In der Gegend des gemeinschaftlichen Scheitels S fallen Ellipse und Parabel beinahe zusammen. Merklich wird die gegenseitige Entfernung der beiden Curven von einander um so später, je länglicher die Ellipse ist, und je weiter sich ihre große Axe erstreckt.

Anmerkungen der deutschen Ausgabe.

Zum ersten Buch.

1. S. 11. Unter den griechischen Mathematikern haben späterhin, nach dem Zeugnisse eines Commentators des Archimedes, Philo und Apollonius Pergäus das Verhältniß des Durchmessers zum Umfange schärfer bestimmt, aber ihre Resultate sind untergegangen.

2. S. 11. Jakob und Adrian Metius, jener nach den neueren Untersuchungen einer der Erfinder des holländischen Fernrohrs, dieser der durch zahlreiche astronomische Schriften bekannte Professor der Mathematik in Franeker, waren Söhne von Adrian, nicht, wie im Texte steht, von Peter Metius. Das nach Letzterem benannte Verhältniß 113 : 355 ist nur aus der Geom. pract. des Sohns bekannt. Man erzählt, daß der irrige Name Peter, den Montucla dem Vater beilegt (Histoire des mathem I. S. 579), entstanden sei aus dem Zusatze p. m. (piae memoriae). Wenn indessen Lalande in der Bibliographie astron. S. 201. den Beinamen Metius (aus Metz) auf den Sohn beschränkt, so darf man nicht übersehen, daß dieser selbst, in der Dedication zum dritten Theile seiner Instit. astron., Franekerae 1608, Alkmaar als seinen Geburtsort bezeichnet.

3. S. 12. Vieta's Methode findet sich im 8. Bande der von Schooten besorgten Ausgabe seiner Opera mathem. Leiden 1646. Franz Vieta aus Fontenay starb zu Paris 1603, im 63. Lebensjahre.

4. S. 12. Adrianus Romanus, kaiserlicher Arzt und Canonicus, Professor der Medicin zu Würzburg, lebte im Anfange des 17. Jahrhunderts. Nach

Kästner (Geschichte der Mathematik. I. S. 483) finden sich die diesem Geometer zugeschriebenen Ziffern in seiner Schrift Expositio et analysis in Archimedis circuli dimensionem.

5. S. 12. Ein von Montucla in der Histoire de la Quadrature du Cercle begangener Irrthum wird an dieser Stelle von Arago wiederholt. Ludolph van Ceulen, Professor der Kriegsbaukunst zu Leiden, war nicht aus Köln, sondern aus Hildesheim gebürtig (1540), was er selbst auf dem Titel einer seiner Schriften angibt. Von ihm erzählt Snellius, er habe die Zahl π innerhalb der von ihm aufgefundenen Grenzen, nach dem Beispiele des Archimedes, und wie später Jakob Bernoulli mit der logarithmischen Spirale gethan, auf sein Grabmal setzen lassen. Ueber Ludolph's Schriften kann man die zweite Sammlung von Kästner's Geometrischen Abhandlungen (Göttingen 1791 S. 185) nachlesen, und desselben Verfassers Geschichte der Mathematik III. S. 80.

6. S. 13. Bis zu der im Texte angegebenen Grenze hin bestimmte Thomas de Lagny das Verhältniß des Umfangs zum Durchmesser am Ende seiner Abhandlung Sur la Quadrature du Cercle et sur la mesure de tout arc, in den Abhandlungen der pariser Akademie vom Jahre 1719. In Lyon geboren, starb Lagny zu Paris im April 1734.

7. S. 13. Beträchtlich weiter noch, als im Texte angegeben, hat man die Zahl π in neuester Zeit kennen gelernt. In den Philos. Transact. f. the Y. 1841, Part. II. S. 283, hat zuerst Rutherford, von der Militärakademie zu Woolwich, 208 Decimalstellen gegeben, von denen jedoch die 55 letzten bald darauf irrig befunden worden sind. In Uebereinstimmung untereinander, bis zur 200. Stelle, haben Hofrath Clausen in Dorpat und der bekannte Rechner Dase in Berlin die Rechnung ausgeführt; der Erstere ist sogar bis zur 250. Ziffer gegangen. In dieser Gestalt findet man den Werth von π im 16. B. von Crelle's Journal und im 25. B. von Schumacher's Astronom. Nachr. S. 209.

8. S. 13. Im französischen Texte ist die 32. Decimale fehlerhaft angegeben.

9. S. 16. Der Verfasser hat ohne Zweifel die lustige fünfte Scene des zweiten Acts der Vögel im Sinne, wo der beim Baue der Vogelstadt mit Meß- und Reißzeug sich aufdrängende Mathematiker Meton, mit Hohn und Schlägen von Rathefreund vertrieben wird. (Nach Droysen's Uebersetzung.)

Zweites Buch.

Vorbegriffe aus der Mechanik und Uhrmacherkunst.

Erstes Kapitel.

Von dem Beharrungsvermögen, von der Ruhe, der Bewegung und den Kräften.

Das Beharrungsvermögen ist die allen Körpern, sowohl im Ganzen als in ihren kleinstmöglichen Theilen, zukommende Eigenschaft, im Zustande gleichviel der Ruhe oder der Bewegung zu verharren, so lange keine äußere Ursache, keine Kraft, ändernd auf den einen dieser beiden Zustände einwirkt. So wird ein in Ruhe befindlicher Körper, wenn nicht äußere Kräfte Einwirkung auf ihn ausüben, ewig in Ruhe bleiben. In derselben Weise wird ein Körper im Zustande der Bewegung fortfahren sich in der Richtung zu bewegen, nach der er einmal angefangen hat sich zu verrücken, und zwar wird er stets dieselbe Geschwindigkeit beibehalten, wenn nicht eine äußere Kraft hinzukommt, welche die ursprüngliche Richtung und Geschwindigkeit der Bewegung dieses Körpers ändert.

Wenn ein ursprünglich in Bewegung befindlicher Körper in Stillstand übergeht, so sind wir kraft dieses Princips des Beharrungsvermögens zu der Behauptung berechtigt, daß eine äußere Kraft eingewirkt hat, welche seine Geschwindigkeit aufgehoben hat; sehen wir ihn von

der geraden Linie abweichen, in welcher er fortschritt, so dürfen wir ebenso sicher sein, daß diese Aenderung der Richtung aus der Einwirkung einer äußern Kraft hervorgegangen ist.

Das Wort Beharrungsvermögen (vis inertiae) soll im Grunde bezeichnen, daß ein materieller Körper willenlos ist, und ohne Unterschied im Zustande der Ruhe oder der Bewegung verharrt.

Wodurch unterscheidet sich aber ein Körper, im Zustande der Bewegung gedacht, von demselben Körper im Zustande der Ruhe? Diese Frage ist von den Metaphysikern und von gewissen Mathematikern auf das Sorgfältigste erwogen worden, ohne daß man jedoch zu einem bestimmten Resultate gekommen wäre. Das Ergebniß einer derartigen Untersuchung ist aber zum Glücke durchaus ohne Einfluß auf die Anwendungen, die wir vom Principe des Beharrungsvermögens zu machen haben werden.

Zweites Kapitel.

Parallelogramm der Kräfte.

Ein Körper folgt in seiner Bewegung der Richtung derjenigen Kraft, die ihn antrieb oder augenblicklich antreibt; es ist dies eine von den Folgerungen aus dem Principe des Beharrungsvermögens. Wie bewegt sich nun aber ein Körper, welcher gleichzeitig nach zwei nicht übereinstimmenden Richtungen getrieben wird?

Die Lösung dieser Aufgabe findet man in allen Lehrbüchern der Mathematik; es wird darin bewiesen, daß wenn ein Körper A (Fig. 14), der von einer Kraft getrieben wird, die ihn in einer Zeitsecunde durch den Raum AB führen würde, gleichzeitig unter dem Einflusse einer zweiten Kraft steht

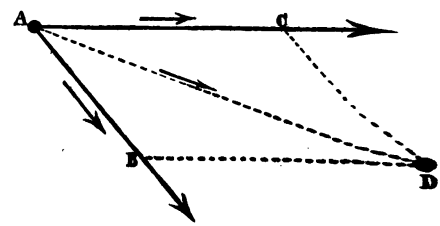


Fig. 14. — Parallelogramm der Kräfte.

welche ihn in einer Zeitſecunde würde den Weg AC zurücklegen laſſen, er unter dieſem gemeinſchaftlichen Antriebe weder AB noch AC durchlaufen, ſondern ſich in einer mittleren Richtung AD fortbewegen wird, welche die Diagonale des über AB und AC errichteten Parallelogramms iſt. Man muß ſogleich den wichtigen Umſtand hinzufügen, daß die Diagonale in derſelben Zeit zurückgelegt wird, welche der Körper würde gebraucht haben, um AB und AC zu beſchreiben, wenn von den beiden durch dieſe Linien (nach Richtung und Stärke) bezeichneten Kräften jede für ſich allein eingewirkt hätte. Dieſen Satz nennt man das Princip des Parallelogramms der Kräfte; bei Gelegenheit der Fragen, welche uns die Unterſuchung des Weltſyſtems ſpäter darbieten wird, müſſen wir von demſelben merkwürdige Anwendungen in großer Zahl machen.

Es iſt eine Folgerung aus dieſem Principe, daß man an Stelle einer einzigen, auf einen materiellen Punkt einwirkenden Kraft, zwei Kräfte ſetzen kann, welche einen größeren oder kleineren Winkel einſchließen, und deren vereinte Wirkung dieſelbe iſt. Stellt AD nach Richtung und Stärke dieſe einzige Kraft vor, ſo iſt nur erforderlich, daß die Linien AB und AC, welche dieſe Kraft erſetzen ſollen, die beiden Seiten des Parallelogramms ABDC ſeien, welches AD zur Diagonale hat.

Wir werden ſehr häufig finden, daß wenn man an Stelle einer Kraft AD die beiden Kräfte AB und AC ſetzt, deren gemeinſchaftliche Wirkung dieſelbe iſt, dadurch die Auflöſung verſchiedener Aufgaben, die ſich uns darbieten werden, bedeutend erleichtert wird.

Drittes Kapitel.

Winkelbewegung.

Bei Unterſuchung der Bewegung der Himmelskörper werden wir ihren veränderlichen Abſtand von der Erde betrachten müſſen, und wenn man von dieſen Aenderungen abſieht, werden wir die Veränderungen in der Richtung erwägen müſſen, d. h. die Winkel, welche die nach

und nach von der Erde zu diesen Himmelskörpern gezogenen Gesichtslinien untereinander bilden.

Diese letzte Art der Verrückung, bei welcher man von den Aenderungen des Abstandes absteht, nennt man die Winkelbewegung. Werden gleiche Winkel zwischen zwei Gesichtslinien in gleichen Zeiten durchlaufen, so sagt man, die Winkelbewegung sei gleichförmig. Analog wird diese Bewegung beschleunigt oder verzögert sein, jenachdem die in gleichen Zeiten zurückgelegten Winkel nach und nach größer oder kleiner werden.

Viertes Kapitel.

Vom Zeitmaaße.

Laplace hat gesagt: „Die Zeit ist für uns der Eindruck, den in unserm Gedächtnisse eine Reihenfolge von Ereignissen zurückläßt, von denen wir wissen, daß sie nach einander eingetreten sind. Zum Maaße der Zeit eignet sich die Bewegung, denn da ein Körper nicht gleichzeitig verschiedene Oerter einnehmen kann, so geht er von einer Stellung in die andere über, indem er alle zwischenliegenden Punkte durchläuft. Wird er in jedem Punkte des Wegs, den er zurücklegt, von einer und derselben Kraft angetrieben, so ist seine Bewegung eine gleichförmige, und die einzelnen Theile der von ihm beschriebenen Linie können zum Maaße der Zeit dienen, innerhalb welcher sie durchlaufen wurden.“

Auf diese Weise wird die Zeit in der That durch die Bewegung gemessen, sowohl bei den Sonnenuhren und den Wasseruhren, als auch bei den Räderuhren der neueren Zeit.

Fünftes Kapitel.

Von den Sonnenuhren.

Die Sonnenuhren (Fig. 15) sind sehr alten Ursprungs; man bezeichnet mit diesem Namen Instrumente, welche die Zeit messen durch das Fortrücken des Schattens, den ein von der Sonne beschienener Stift auf eine Ebene wirft. Schon im zweiten Buche der Könige, 20, 9—11, und Jesaias, 38, 8 liest man, daß Gott „zum Zeichen, daß er Hiskia wieder gesund machen" wolle, „den Schatten am Sonnenzeiger Ahas zehn Linien zurückzog, über welche er gelaufen war" [1]).

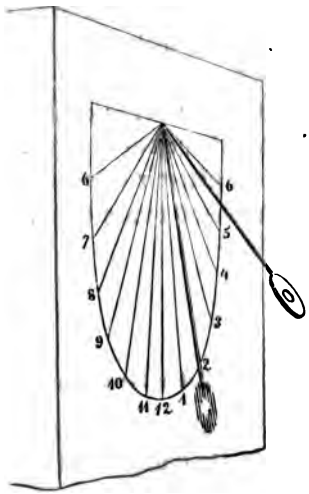


Fig. 15. — Sonnenuhr.

Ahas war König von Juda um das Jahr 742 v. Chr. Nach Angabe der Bibel reicht also die Erfindung der Sonnenuhren sieben und ein halbes Jahrhundert über den Anfang der christlichen Zeitrechnung zurück.

Will man sich auf schriftlich vorhandene Zeugnisse beschränken, so wurde in Griechenland die erste Sonnenuhr von Anaximander in Lacedämonien um das Jahr 545 vor Chr. aufgestellt [2]).

Herodot, der etwa hundert Jahre nach Anaximander lebte, berichtet, daß die Griechen von den Babyloniern die Eintheilung des Tages in zwölf Theile entlehnten. Ob nun diese Eintheilung in Chaldäa mit Hülfe von Sonnen- oder Wasseruhren geschah, darüber erwähnt Herodot Nichts.

Zu welcher Zeit die Sonnenuhren den Römern bekannt geworden sind, möchte sich schwer entscheiden lassen.

Zwar erzählt Plinius (7. Buch, 60. Cap.), daß die erste Sonnenuhr zu Rom von Papirius Cursor (306 vor Chr.) aufgestellt wurde, doch ohne die Thatsache selbst zu verbürgen.

Im Jahre 276 vor Chr. wurde eine zweite Sonnenuhr auf dem Forum aufgeſtellt, welche Valerius Meſſala aus Catania (Catina) in Sicilien herbeigeſchafft hatte [3]).

In den Häuſern der Reichen war bei den Alten ein eigner Sklave damit beauftragt, die Zeit zu holen und ſeinem Herrn zu überbringen.

Der Sklave fand nun zwar die Zeit, die er ſuchte, an den Sonnenuhren auf den öffentlichen Plätzen; wie ſtand es aber mit derjenigen Zeit, welche während ſeiner Rückkehr vom Platze in die Wohnung verfloß?

Eine auf dieſe Weiſe erhaltene Zeitbeſtimmung mochte wohl für die Bedürfniſſe des gewöhnlichen Lebens ausreichend ſein; aber ſie ermangelte jedweder Genauigkeit, und zu wiſſenſchaftlichen Zwecken hätte ſie keineswegs dienen können [4]).

Sechſtes Kapitel.

Ueber die Zeitmeſſung der Alten während der Nacht.

Wie aber theilte man im Alterthume die Nachtzeit ein? Offenbar durch Beobachtung des Auf- und Untergangs der Geſtirne, oder durch Beobachtung des Durchgangs der hellſten Sterne durch die höchſten Stellungen, welche ſie in ihrer täglichen Laufbahn erreichen. Frägt man nach dem Beweiſe, ſo findet man ihn in Euripides' Tragödieen, wo es in einem Chore heißt:

Nenn' mir den Stern, der jetzt durchgeht. —
Im Oſt erglänzen die Plejaden,
Am Himmel hoch der Adler ſteht.

Euripides lebte von 480 bis 407 vor Chr.

Euklid ſagt in ſeiner Schrift Phänomena, daß die ſichtbaren Theile der von den nördlichen Sternen durchlaufenen Parallele um ſo größer ſind, je geringer die Entfernungen dieſer Sterne vom Nordkreiſe ſind. „Man bemerkt dies dadurch," ſetzt er hinzu, „daß die Zeit, welche ſie unterhalb des Horizontes zubringen, mehr oder weniger von derjenigen Zeit verſchieden iſt, welche ſie über dem Horizonte verweilen." (Delambre, Histoire anc. Vol. I. p. 52.)

Aus dieſer Stelle geht hervor, daß man zu Euklid's Zeiten, d. h. etwa dreihundert Jahre vor Beginn unſerer Zeitrechnung, kleinere Theile der Zeit bereits anzugeben vermochte.

Siebentes Kapitel.

Von den Waſſeruhren.

Es iſt ſehr wahrſcheinlich, daß die Waſſeruhren noch älteren Urſprungs ſind als die Sonnenuhren.

Sie ſind Uhren, welche Zeitdauern durch Wirkungen maßen, die vom Ausfluſſe des Waſſers abhängig waren.

Wollte man nämlich die Dauer der Reden abmeſſen, welche von den öffentlichen Rednern und Advocaten in einer Volksverſammlung oder vor Gericht gehalten werden ſollten, ſo wandte man zu dieſem Zwecke Gefäße mit Waſſer gefüllt von beſtimmtem Inhalte an, und die Zeit, welche die Flüſſigkeit, um gänzlich auszufließen, brauchte, beſtimmte die verlangte Zeitdauer.

Hatten mehrere Redner nacheinander das Wort, ſo beſtimmten die Behörden jedem im Voraus eine Waſſeruhr. Daher ſtammen Ausdrücke wie: man ſteht noch beim erſten, zweiten, dritten Waſſer. Du greifſt über in das Waſſer, das mir gehört u. ſ. w. In Demoſthenes' und Cicero's Reden trifft man auf Stellen, welche ſich auf dieſe Methode beziehen, die Dauer einer Rede zu beſtimmen[5]). Diejenigen, welche mit der Beobachtung der Waſſeruhren beauftragt waren, begünſtigten ihre Freunde und benachtheiligten ihre Gegner, indem ſie entweder den Durchmeſſer der kleinen Ausflußöffnung, oder den Rauminhalt des Gefäßes, das die Flüſſigkeit enthielt, abänderten. Letzteres erreichten ſie durch Stücke Wachs, welche ſie unbemerkt an den innern Gefäßwänden anbrachten, oder verſtohlenerweiſe daraus entfernten.

Es gab auch Waſſeruhren, bei denen man die Zeit nicht durch Ausfließen der ganzen Flüſſigkeit maß, ſondern durch die Aenderung der Waſſerhöhe. In noch andern, wie ſie Kteſibius baute, wurde das ausgefloſſene Waſſer als bewegende Kraft benutzt, ſo daß das Waſſer,

indem es der Reihe nach die verſchiedenen Tröge eines Rades füllte, dies Rad in eine rotirende Bewegung verſetzte, welche ſich dann auf ein Räderwerk übertrug (Fig. 16 und 17)*). In noch andern Uhren

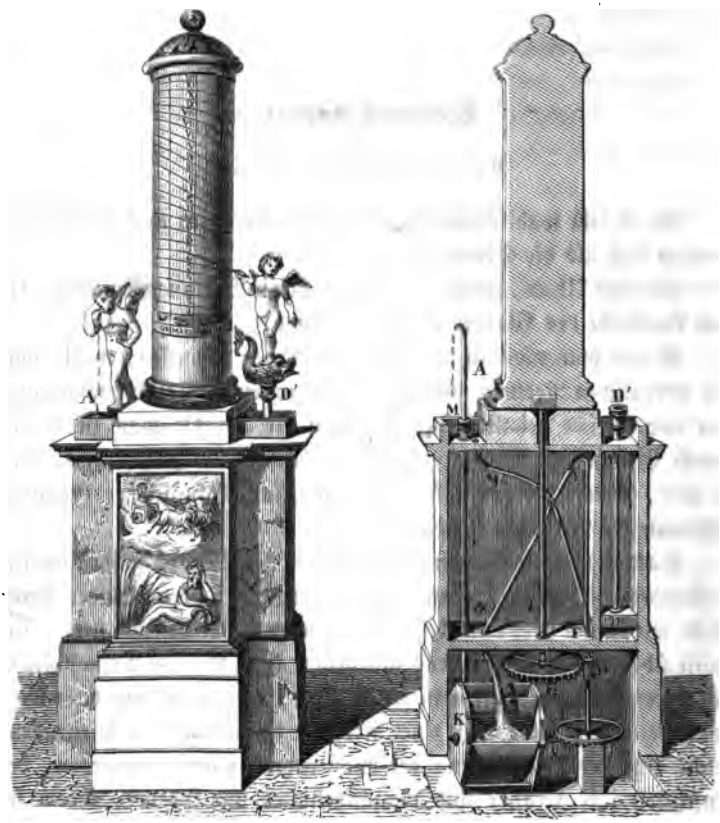


Fig. 16. — Kteſibius' Waſſeruhr in der Wiederherſtellung von Perrault.

Fig. 17. — Durchſchnitt der Waſſeruhr des Kteſibius.

erzielte man die bewegende Kraft durch das Aufſteigen der Flüſſigkeit, welche ſich in ein unbewegliches und geſchloſſenes Gefäß ergoß. Ein

*) In den Figuren 16 und 17 iſt das Aeußere und Innere der Waſſeruhr des Kteſibius abgebildet in derjenigen Geſtalt, welche ihr Claude Perrault, der berühmte Erbauer der Louvrecolonnade nach Vitruv's Beſchreibung gegeben hat. Auf Fig. 16

in diesem Gefäße befindlicher Schwimmer trug ein Zahneisen, welches letztere, indem es in ein Triebrad eingriff, ein System gezähmter Räder in Umdrehung setzte, durch das dann sehr mannigfaltige Wirkungen herbeigeführt wurden.

Ktesibius lebte um die Mitte des zweiten Jahrhunderts vor der christlichen Zeitrechnung [6]).

Auch der Apparat, welchen Scipio Nasica, als er Censor war, zur Eintheilung der Tagesdauer aufstellen ließ, wurde nach Plinius und Censorinus, durch fließendes Wasser in Thätigkeit gesetzt. (Siehe Plinius, 7. Buch, 60. Kap.) [7])

---

erblickt man links ein Kind, dessen tropfenweise herabfallende Thränen, aus einem Gefäße von constanter Wasserhöhe kommend, die Uhr in Bewegung setzen. Das so herabgefallene Wasser macht, daß das andere Kind sich senkt oder hebt; ein Zeiger in der Hand dieses letzteren weist an einer Säule auf die eben stattfindende Stunde. Die Zeit vom Aufgange bis zum Untergange der Sonne war für jeden Tag in zwölf gleiche Theile getheilt; diese Theile selbst waren natürlich verschieden von einem Tage zum andern, so daß man für jeden Tag im Jahre einer besondern Theilung bedurfte. Zu dem Zwecke drehte sich die Säule um ihre Axe, was Ktesibius durch gezähnte Räder erreichte, wie Fig. 17 zeigt. Dort ist nämlich A das Rohr, durch welches das weinende Kind mit dem Gefäße in Verbindung steht. M ist ein leerer Raum, der die Thränen aufnimmt. In der Nähe des Buchstaben M bemerkt man eine Oeffnung, durch welche die Flüssigkeit das Fußgestell der großen Säule passirt, um durch die Röhre M' in die lange, enge, mit BCD bezeichnete Leitung zu gelangen. CD ist ein beweglicher Träger, an dessen unterem Ende ein Korkschwimmer D befestigt ist, so daß dies Stück nach und nach aufsteigt, wenn sich der Kanal, in welchem es sich bewegen kann, mit Wasser anfüllt. Mit dem unteren Theile dieses Kanals steht ein Heber FF'A' in Verbindung. Hat das Wasser nach Verlauf von 24 Stunden diesen Kanal angefüllt, so erreicht es zugleich den höchsten Punkt F' des Hebers, der in Folge der Haupteigenschaft dieses Instruments, dadurch in Thätigkeit gesetzt, das Wasser aus dem Kanal bis zu gänzlicher Entleerung ausfließen macht. Beim Austreten aus diesem Heber fällt das Wasser auf ein Trograd K, welches so eingerichtet ist, daß es durch den Druck des nach und nach in seine Tröge sich ergießenden Wassers in je 6 Tagen eine Umdrehung macht. Dies Rad nun setzt ein Triebrad N in Bewegung, das zehn Mal so viele Zähne besitzt und also zehn Mal langsamer umläuft. So wird das Triebrad H gedreht, macht aber seine Umdrehung erst nach 60 Tagen. Dieses seinerseits treibt das Rad G, welches sechs Mal soviele Zähne hat, und folglich erst nach 360 Tagen umläuft. Endlich ist die obere, auf der Axe L befestigte Säule durch das Rad G drehbar, und macht also im Verlaufe von 360 Tagen eine Umdrehung um ihre eigene Axe.

Es war dies alſo eine Waſſeruhr, nicht eine Sonnenuhr, wie gewöhnlich angenommen wird.

Die Waſſeruhr des Scipio Naſica befand ſich in einem überdachten Raume. Ihre Verfertigung ſetzt Plinius in das Jahr 595 der Stadt, alſo 172 vor Chr.

Achtes Kapitel.

Von den gezähnten Rädern.

Ariſtoteles hat bereits 350 Jahre vor Beginn unſerer Zeitrechnung von Rädern geſprochen, welche ohne Zweifel gezahnt ſein mußten. In ſeinen Quaest. mechan. lieſt man in der That (Introd. S. 848 der von der berliner Akademie veranſtalteten Ausgabe)[8]:

„Zufolge der dem Kreiſe zukommenden Eigenſchaft, ſich gleichzeitig nach entgegengeſetzten Richtungen zu bewegen, d. h. ſo, daß der eine mit A bezeichnete Endpunkt des Durchmeſſers (Fig. 18) ſich etwa vorwärts bewegt, während der andere B rückwärts geht, hat man Apparate herſtellen können, in welchen ſich durch eine einzige Bewegung, gleichzeitig mehrere aneinander liegende Kreiſe in entgegengeſetzter Richtung bewegen, ſowie die kleinen ehernen oder eiſernen Räder, welche in den Tempeln geweiht werden. Es ſei nämlich AB ein Kreis, der einen andern CD berührt. Bewegt ſich der Durchmeſſer des Kreiſes AB vorwärts, ſo beginnt der des Kreiſes CD eine rückwärts gerichtete Bewegung, wenn die Bewegung des Durchmeſſers vom Kreiſe AB um einen und denſelben Punkt geſchieht. Der Kreis CD wird ſich alſo der Bewegung des Kreiſes AB entgegengeſetzt drehen. Seinerſeits wird er

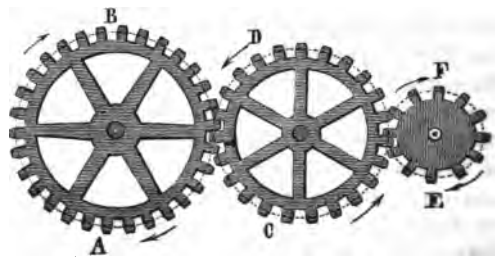


Fig. 18. — Bewegung von ſich berührenden Kreiſen, nach der Vorſtellung des Ariſtoteles.

ferner ebenſo den ihn berührenden Kreis EF in der ſeiner Bewegung entgegengeſetzten Richtung bewegen. Denkt man ſich nun beliebig viele ſolcher Kreiſe, ſo wird überall daſſelbe eintreten; ſobald nur ein einziger Kreis ſich zu drehen beginnt, wird die genannte Erſcheinung bei allen übrigen eintreten. Auf dieſe natürliche Eigenſchaft des Kreiſes gründen die Künſtler in der Anwendung eine mechaniſche Vorrichtung, bei welcher ſie das Princip der Bewegung ſorgfältig verbergen, damit man allein die wunderbare Wirkung des Apparats ſehe, ohne die Urſache zu bemerken."

Dieſe Stelle beim Ariſtoteles iſt nur verſtändlich wenn man annimmt, daß die Kreiſe mit Zähnen verſehen ſind; denn nur ſo kann die Bewegung von einem auf den andern übertragen werden, und es braucht nur ein einziger in Bewegung geſetzt zu werden, um alle übrigen in Umlauf zu verſetzen.

250 Jahre vor Chr. hatte Archimed zum Aufheben ſchwerer Laſten Maſchinen erſonnen, welche den heutigen Wagenwinden nicht unähnlich, aus einer Verbindung gezähnter Räder beſtanden.

Uebrigens ſtimmen die Mechaniker darin überein, daß der ſich drehende Globus des berühmten Geometers von Syrakus (und des Römers Poſidonius) die wunderbaren Eigenſchaften, welche ihm das Alterthum zugeſchrieben hat, nur beſitzen konnte, wenn er mit gezähnten Rädern verſehen war.

Auch in den Waſſeruhren des Kteſibius, deren Beſchreibung uns Vitruv überliefert hat, ſpielten die gezähnten Räder, wie wir oben geſehen haben, eine wichtige Rolle [9]).

Wenn nun zwar Niemand heutzutage angeben kann, wer der erſte Erfinder der gezähnten Räder geweſen, ſo iſt es wenigſtens zweifellos, ſowohl durch das, was Ariſtoteles berichtet, als durch Archimedes' Erfindungen und die Waſſeruhren des Kteſibius, daß ſie ſeit länger als 2000 Jahren bei Maſchinen zur Anwendung kommen.

Mehr als anderswo hatte man in den Klöſtern Veranlaſſung, den Tag und die Nacht in Unterabtheilungen zu bringen, um den Gottesdienſt regelmäßig abzuhalten. Nun iſt aber erwieſen, daß in dem Jahre, wo der heilige Hugo in der reichen Abtei zu Cluny ver-

ſtarb, der dortige Meßner nach den Sternen ſah, um zu wiſſen wann es Zeit war, die Mönche zum nächtlichen Gottesdienſte zu wecken [10]).

Man darf hiernach behaupten, daß die Uhren mit gezähnten Rädern im Jahre 1108 noch nicht erfunden, oder wenigſtens, daß ſie damals noch wenig verbreitet waren.

Der Meßner zu Cluny war ein gelehrter Mann, da er um die Zeit zu finden, ſeine Zuflucht zur Beobachtung der Geſtirne nahm. In den gewöhnlichen oder ärmlichen Klöſtern gebrauchte man Waſſeruhren, wie Haeften berichtet [11]). In Ermangelung derſelben brachte ein Mönch, wachend und Pſalmen herſagend, die Nacht zu — man hätte ihn eine lebende Uhr nennen können. Aus Erfahrung wußte man im Voraus, wie viele ſolcher Pſalmen in einer Stunde hergeſagt werden konnten; durch einen einfachen Proportionaltheil beſtimmte dann der Meßner, in welchem Augenblicke man die Bewohner des Kloſters wecken mußte. Haeften erzählt ferner, daß man ſich auch, einfach genug, nach dem Krähen des Hahns richtete. (Traité général des horloges par le R. P. dom Jacques Alexandre. Paris 1734. S. 300.)

Neuntes Kapitel.

Die Gewichte an den Uhren.

An der Thurmuhr des Juſtizpalaſtes, welche unter Karl V. zu Paris von dem deutſchen Künſtler Heinrich von Wick angefertigt wurde, hatte das die Uhr in Bewegung ſetzende Gewicht 250 Kilogramme (500 Pfund). Im Verlaufe von 24 Stunden ſtieg es über 30 Fuß herab [12]). (Berthoud, Histoire de la mesure du temps par les horloges. Paris 1802. T. I. S. 53.)

Julien Le Roi berichtet von ſehr großen Uhren, in welchen das Gewicht bis zu 500 und 600 Kilogramme (1000 bis 1200 Pfund) betrug.

Die erſte Anwendung einer Uhr mit gezähnten Rädern zu aſtronomiſchen Beobachtungen fällt ins Jahr 1484; Walther, der nürnberger Aſtronom, wandte ſie zuerſt an [13]).

Ums Jahr 1560 besaßen der Landgraf von Hessen und Tycho de Brahe Räderuhren. Die des letzteren zeigten Minuten und Secunden, und unter ihnen bestand eine nur aus drei Rädern; der Durchmesser des größten dieser Räder betrug 3 Fuß, und auf dem Umfange waren 1200 Zähne angebracht [14]). Man begreift leicht, auf welche Weise ein Gewicht, das an einem Seile befestigt ist, ein gezähntes Rad in Bewegung setzen kann, wenn das Seil über einen um seine Axe drehbaren Cylinder gewickelt ist (Fig. 19). Wenn man sich ferner vorstellt, daß dies Rad in verschiedene andere Räder eingreift, an denen sich Zeiger befinden, die untereinander verschiedene Geschwindigkeiten erlangen (Fig. 20, S. 48), so sieht man auch ohne Weiteres ein, daß die Bewegungen dieser Zeiger dergestalt eingerichtet werden können, daß sie die Zeit messen und auf den Zifferblättern die Stunden, Minuten und Secunden weisen.

Nachdem Aristoteles in seinen Quæst. mech. angegeben, wie zwei sich berührende Kreise, von denen einer den andern in Bewegung setzt, sich in entgegengesetzter Richtung bewegen, spricht er auch, wie wir oben lasen (S. 44), von den kleinen Rädern aus Erz und Eisen, die man in den Tempeln weiht.

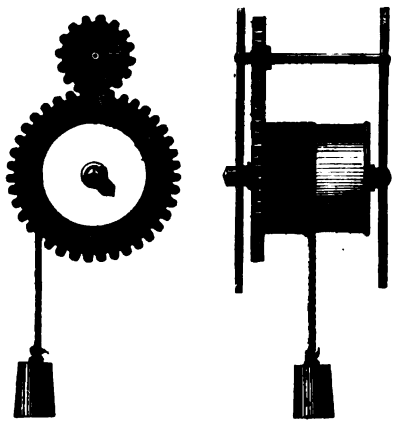


Fig. 19. — Uhrgewicht, von vorn und von der Seite gesehen.

Er fährt dann fort: „Angenommen, dieser Kreise seien soviele als man will, so wird es sich mit allen ebenso verhalten, obgleich sich ursprünglich nur ein einziger bewegt. Auf diese Bemerkung der natürlichen Eigenschaft des Kreises gründen die Künstler eine Construction, in welcher sie das bewegende Princip versteckt anbringen, damit allein die Wirkung des Mechanismus sichtbar sei und die Ursache unbekannt bleibe."

Was anders konnte dies Princip sein, als eine Feder?

In der Beſchreibung, welche Claudian von einer uranographiſchen Maſchine des Archimedes gegeben hat, wird das bewegende Princip ein eingeſchloſſener Geiſt genannt. Konnte damit wohl etwas Anderes als eine Feder bezeichnet ſein? (Derham, The artificial Clockmaker. London 1700.)

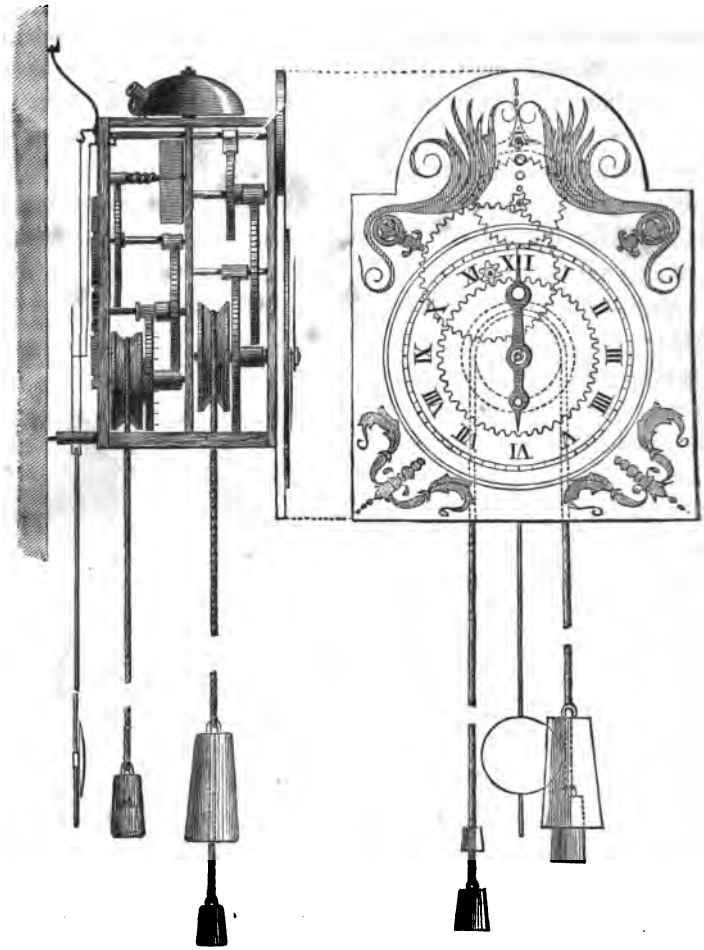


Fig. 20. — Gewichtuhr von der Seite und von vorn geſehen.

Man kennt nicht den Gelehrten oder den Künſtler, der zuerſt auf den Gedanken gekommen iſt, als bewegende Kraft in kleinen Uhren und in Taſchenuhren eine ſpiralförmig gewundene Feder anzuwenden, welche in der Trommel oder im Federhauſe eingeſchloſſen iſt (Fig. 21).

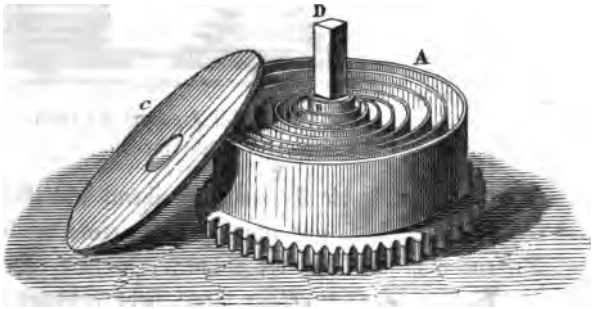


Fig. 21. — Die Uhrfeder in der Trommel A, welche letztere mit einem gezähnten Rade verſehen iſt. — B die Axe, welche am oberen Ende D vierkantig iſt, zum Aufziehen der abgelaufenen Feder. — c iſt der Deckel der Trommel; er iſt in der Figur abgenommen, um die Feder ſichtbar zu machen.

Es ſcheint, daß dieſe wichtige Erfindung gegen das Ende des 15. oder zu Anfange des 16. Jahrhunderts gemacht worden iſt. Derham erzählt, er habe eine Uhr geſehen, welche Heinrich VIII. von England gehört habe, der von 1491 bis 1547 lebte.

Die Spiralfeder, welche Taſchenuhren in Bewegung ſetzt, hat man von Anfange an, gerade ſo wie heutzutage geſchieht, mit ihrem äußeren Ende an die drehbare Trommel befeſtigt, mit dem andern Ende an den unbeweglichen Zapfen, welcher die Axe der Trommel bildet. Man ſieht dieſe Einrichtung noch an allen Uhren, welche aus den Zeiten der Könige Karl IX. und Heinrich III. von Frankreich vorhanden ſind.

In dem Maaße, in welchem die Feder abläuft, verliert ſie von ihrer Kraft, und eine auf dieſe Weiſe eingerichtete Uhr würde, trotz der Einwirkung der ſpäter zu beſprechenden Unruhe, nach dem Aufziehen ſchnell gehen, um darauf mehr und mehr zu verlangſamen.

Dieſem Fehler abzuhelfen, hat man die Spindel oder Schnecke erdacht (Fig. 22), eine der ſchönſten Erfindungen des menſchlichen Geiſtes.

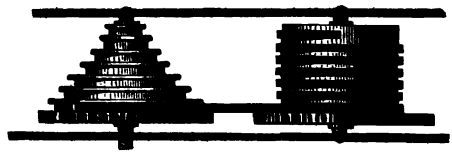


Fig. 22. — Die Trommel mit der Schnecke in Verbindung.

Es iſt nicht bekannt, wer der Erfinder der Schnecke war.

Um die Wirkungsweiſe dieſes Mechanismus zu verſtehen, muß man zuerſt bemerken, daß in den Uhren ohne Schnecke die Trommel an ihrem unterſten Theile gezähnt iſt (Fig. 21, S. 49), und unmittelbar in eines der Uhrräder eingreift. Bedient man ſich aber der Schnecke, ſo iſt der Boden der Trommel nicht gezähnt, ſondern dieſer Theil ſteht alsdann mit der Schnecke durch eine Darmſaite oder eine gegliederte Kette in Verbindung. Dieſe Kette iſt, wenn man die Uhr aufgezogen hat, faſt ganz in der ſchneckenförmigen Furche aufgewickelt, welche auf der äußern, kegelförmigen Oberfläche der Spindel angebracht iſt. Während nun die Ziehkraft der Feder jetzt am ſtärkſten iſt, wickelt ſie die Kette über die Cylinderfläche der Trommel auf (Fig. 22), und wirkt dabei auf die Spindel an der Stelle, wo letztere den kleinſten Umfang hat. Je weniger nun die Feder geſpannt iſt, deſto größer wird der Hebelarm, mittelſt deſſen ſie auf die Spindel wirkt, dergeſtalt, daß ſich beide Einflüſſe gegenſeitig aufheben. Die Spindel endlich iſt an ihrer Baſis gezähnt, greift unmittelbar in das Räderwerk ein, und da ihr Beſtreben ſich zu drehen gleich groß bleibt, ſo wird offenbar das ganze Uhrwerk in eine gleichförmige Bewegung verſetzt.

Zehntes Kapitel.

Vom Pendel.

In ſeiner einfachſten Geſtalt beſteht das Pendel aus einem kleinen, ſchweren Körper A (Fig. 23), der an einem ſehr dünnen, um einen Punkt S beweglichen Faden befeſtigt iſt, in der Weiſe, daß man den Körper A aus ſeiner verticalen Lage nach rechts oder nach links, nach C oder nach B entfernen kann, und dann ſich ſelbſt überlaſſen.

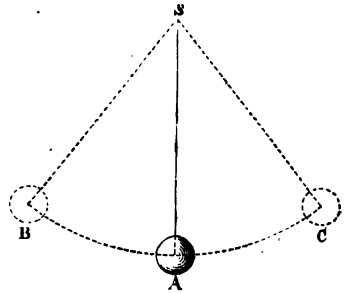


Fig. 23. — Pendelbewegung.

Die erſte Entdeckung der Eigenſchaften des Pendels ſetzt Viviani in die Zeit, als Galilei, im Alter von nur 20 bis 22 Jahren, zu Piſa Medicin und Philoſophie ſtudirte. (Opere di Galileo, Firenze, 1. Bd. Vita S. 63.)

Der junge Student befand ſich eines Tags im Dome zu Piſa, als ihm einfiel, die Schwingungen einer an einem Seile herabhängenden Lampe zu beobachten. Durch ſehr genaue (esattissime) Verſuche überzeugte ſich Galilei von der Gleichheit der Schwingungen dieſes Pendels, und machte unter großem Erſtaunen und großem Beifall der damaligen Mediciner den Vorſchlag, davon bei Beobachtung der Geſchwindigkeit des Pulſes Gebrauch zu machen. Auch auf Beobachtungen am Himmel hat Galilei zuerſt dieſen Kunſtgriff angewandt, und zwar zu unglaublichem (incredibile) Vortheile der Aſtronomie und der Geographie.

Dieſe Erzählung iſt ohne Zweifel von großem Intereſſe, nur hat Viviani leider in der Lebensbeſchreibung des berühmten Florentiners vergeſſen anzugeben, welches denn dieſe esattissimi Hülfsmittel geweſen ſind, durch welche ermittelt wurde, daß die großen und die kleinen Schwingungen von genau gleicher Dauer ſind. Dieſe Auslaſſung iſt um ſo weniger verzeihlich, als Galilei zu der Zeit, wo er ſich zuerſt mit dem Pendel beſchäftigte, nach den eigenen Worten des Geſchichtſchreibers, ſich der Mathematik noch nicht zugewandt hatte.

Man kann aber diese Lücke ausfüllen durch die Nachrichten, welche sich in einer andern Viviani'schen Schrift finden, die den Titel führt: Geschichte der von Galilei ersonnenen Uhr, welche durch das Pendel regulirt wird..... Diese auf Veranlassung des Mediciers Leopold niedergeschriebene Geschichte datirt vom Jahre 1659. Galilei's Leben war 1654, also 5 Jahre früher erschienen.

Im vierten der Dialoge über das Weltsystem, der Mailänder Ausgabe 12. Bd. S. 328, drückt sich Salviati, eine der dort redend eingeführten Personen, folgendermaßen aus:

„Ich behaupte, daß wenn man das Pendel nur um 1, 2 oder 3 Grade von der Verticallinie entfernt, und man es hierauf 70, 80 Grade, oder gar um einen ganzen Quadranten davon entfernt, dasselbe, sobald man es losläßt, in beiden Fällen gleich schnell schwingen wird; ich meine, wenn das Pendel Bögen von nur 2 bis 4 Grad, und wenn es Bögen von 160 und mehr Graden zurücklegt. Das kann man deutlich sehen, wenn man zwei gleiche Gewichte an gleich langen Fäden befestigt und beide aus der Verticallinie entfernt, das eine wenig, das andere beträchtlich. Werden diese Gewichte sich selbst überlassen, so schwingen sie in gleichen Zeiten hin und her, jenes in kleinen, dieses in großen Schwingungsweiten."

Dieser Versuch würde sehr genau gewesen sein, wenn man, während sich im Zustande der Ruhe, vom Standpunkte des Beobachters aus, die beiden Pendel aufeinander projicirten, über ihr gleichzeitiges oder nichtgleichzeitiges Eintreffen in die Verticale hätte urtheilen können; mit einem Worte, wenn die heutige Methode der Coincidenzen an die Stelle der unbestimmten Prüfung getreten wäre, von der in der angeführten Stelle die Rede ist. Dann aber, muß man hinzufügen, würde Galilei bemerkt haben, daß bei Kreisschwingungen zwischen den großen und kleinen kein Isochronismus besteht, und er würde in diesem Falle dieser Gattung von Bewegungen nicht Eigenschaften zugeschrieben haben, welche, wie Huyghens so schön bewiesen hat, nur den Schwingungen in der Cycloide zukommen.

Im ersten Augenblicke wäre man zu dem Glauben geneigt, daß, da die gerade Linie die kürzeste von allen Linien ist, die zwischen zwei gegebenen Punkten gezogen werden kann, sie auch die Linie des

ſchnellſten Falls ſein müſſe. Dies iſt aber nicht der Fall: die Linie des ſchnellſten Falls iſt eine Curve, und zwar eine umgekehrte Cycloide. Dieſe krumme Linie ABA′ wird im Raume durch einen Punkt am Umkreiſe eines Rades erzeugt, welches in gerader Linie auf ebenem Boden fortrollt (Fig. 24). Um dem, was ich ſoeben mittheilte, das anſcheinend Seltſame zu nehmen, braucht man nur zu bedenken, daß der fallende Körper auf der vom erſten zum zweiten gegebenen Punkte gezogenen concaven Linie anfänglich verticaler abſteigt, als auf der geneigten Ebene, und daß er ſomit von Anfange an eine größere Geſchwindigkeit erlangt, wodurch der Einfluß des längeren Weges nicht nur aufgehoben, ſondern ſogar überboten werden kann.

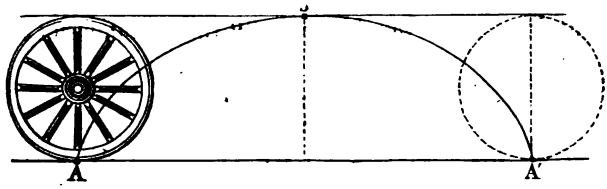


Fig. 24. — Erzeugung der Cycloide.

Auf einer umgekehrt ſtehenden Cycloide mit verticaler Are gelangt ein ſchwerer Körper, von welchem Punkte er ausgehen mag, ſtets in derſelben Zeit an den niedrigſten Punkt. So braucht die Kugel A′, welche an der innern Seite der Curve (Fig. 25) entlang rollt, um von A′ nach B zu gelangen, durchaus nicht mehr Zeit, als die Kugel D braucht, um den kleinen Bogen DB zu durchlaufen.

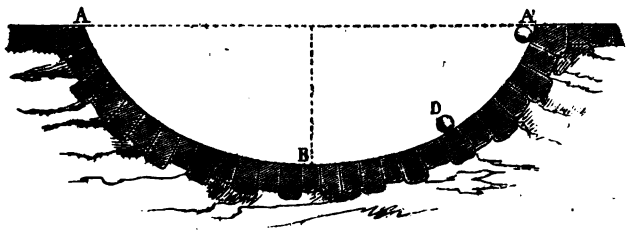


Fig. 25. — Fall eines Körpers längs der concaven Seite der Cycloide.

Huyghens ist der Entdecker dieser merkwürdigen Eigenschaft der Cycloide.

Damit die Schwingungen eines Pendels bei beliebiger Schwingungsweite genau von gleicher Dauer seien, müssen sie, wie Huyghens gleichfalls entdeckt hat, zwischen zwei Cycloidenbogen stattfinden.

Es möge S den Aufhängepunkt des Pendels (Fig. 26) bezeichnen; P das schwingende Gewicht, und SP einen biegsamen, undehnbaren Faden.

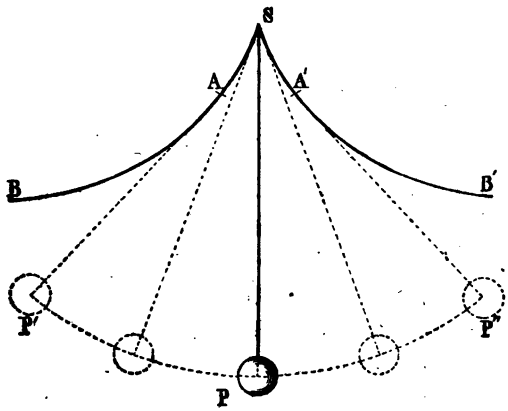


Fig. 26. — Princip des Cycloiden-Pendels.

Sind nun in obiger Figur SAB und SA'B' zwei Cycloidenbogen, jeder erzeugt durch einen Kreis vom Durchmesser $^1/_2$ SP, so werden die großen und die kleinen Schwingungen isochron.

Leider haben aber alle Hülfsmittel, die man in Anwendung zu bringen versucht hat, um die nothwendige Verbindung herzustellen zwischen dem Faden und dem System gezähnter Räder, deren Bewegung das Pendel nach jeder Secunde unterbrechen muß, sehr merkliche Uebelstände hervorgerufen. So ist es gekommen, daß man, wie schön Huyghens' Erfindung (Fig. 27, S. 55) an sich immer bleibt, das biegsame Cycloidenpendel gänzlich aufgegeben hat, und sich heutzutage ausschließlich eines starren Pendels bedient, das man nur kleine Schwingungen machen läßt.

Der ausgezeichnete Orientalist, Mathematiker und Astronom

Eduard Bernard, der im Jahre 1638 in der Grafſchaft Northampton geboren wurde, und 1697, nachdem er lange Zeit zu Orford gelehrt hatte, ſtarb, hat zuerſt behauptet, daß die Araber die Erfindung des Pendels gemacht haben. Er hatte alle orientaliſchen Manuſcripte der Merton-Bibliothek zu Orford durchforſcht, und entwirft in einem Briefe an Dr. Robert Huntington, im April 1684*), eine glänzende Schilderung von der Aſtronomie der Araber, indem er ſeine Verwunderung darüber äußert, daß es ihnen gelungen ſei, die Zeit durch Pendelſchwingungen zu meſſen**).

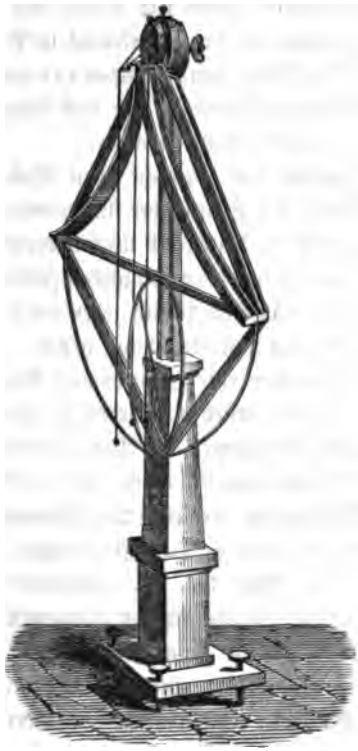


Fig. 27. — Huyghen's Cycloiden-Pendel.

Auch Thom. Young***) iſt überzeugt, daß Ebn-Junis, gegen Ende des 10. Jahrhunderts, das Pendel zur Zeitbeſtimmung anwendete; die Ehre aber, ſchon im Jahre 1612, d. h. 44 Jahre

*) Philosoph. Transact. Vol. 13—14. S. 567.

**) Seine Worte ſind folgende: „Quam illi sollicite temporis minutias per aquarum guttulas, immanibus sciotheris, imo (mirabere) fili penduli vibrationibus distinxerint et mensuraverint . . .“ Man ſiehe Sédillot, Mémoire sur les Instruments astronomiques des Arabes, im erſten Bande der Mémoires des savants étrangers, welche die Akademie der Inſchriften und ſchönen Wiſſenſchaften herausgegeben hat. 1. S. 44.

***) Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts, London 1807. 1. Bd. S. 191[15]).

vor Huyghens, zuerſt das Pendel mit einem Räderwerke verbunden zu haben, nimmt er für Sanctorius in Anſpruch*).

Von Ebn-Junis beſitzen wir nur Fragmente, und die Behauptung Thomas Young's hat noch keine Beſtätigung durch einen genau richtigen Text erhalten können.

Indem das Gewicht beim Niederſteigen eine Schnur abwickelt, oder indem die Spiralfeder ſich erweitert, würde eigentlich das ganze Räderwerk der Uhren ſich ununterbrochen bewegen. Aber dieſe Bewegung unterbricht man in gleichen Zeitintervallen, indem man die Zähne eines der Räder im Werke gegen ein beſonderes Stück anſchlagen läßt, welches man den Regulator nennt. Die Zähne dieſes Rades geben dem Regulator eine abwechſelnde Bewegung. Durch die Reibungen aber, welche entſtehen, würden die Zeitintervalle zwiſchen den einander folgenden Momenten des Anhaltens der Räder ungleich werden; deshalb bediente man ſich zuerſt, um die Bewegung gleichförmig zu machen, des Balanciers, der eine Art Schwungrad war, etwa wie die großen Räder, die man an Dampfmaſchinen ſieht.

Das Ende des 17. Jahrhunderts iſt ausgezeichnet durch eine Entdeckung, welche ſich den glänzendſten unter den von uns bisher betrachteten an die Seite ſtellen läßt. Um das Jahr 1674 kam man auf den Gedanken, eine Spiralfeder an den Balancier (die Unruhe) anzubringen (Fig. 28). War nämlich bis dahin die Weite oder die Geſchwindigkeit der Schwingungen dieſes ſo wichtigen Stücks einfach abhängig geweſen von dem Stoße, welchen daſſelbe von der bewegenden Kraft erhielt, ſo kam durch Anbringung der Spiralfeder ein neues, vortreffliches Princip der Regelmäßigkeit in dieſe Schwingungen.

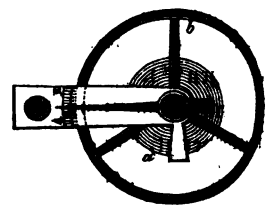


Fig. 28. — Die Spiralfeder a in Verbindung mit der Unruhe b.

Thomas Reid (Dr. Brewſter's Encyclopedy, Art. Horology, S. 123) will den franzöſiſchen Künſtlern nicht die Ehre zuerkennen, die iſochrone Spiralfeder erfunden zu haben, und ſtützt ſich dabei auf

*) Humboldt im Kosmos, 2. Bd., S. 258 und 451.

folgende Stelle einer Schrift von Mudge[16]) (vom Jahre 1763): „Das Pendel oder die Unruhe mit Spiralfeder bewirkt nach phyſikaliſchen Grundſätzen, daß das Balancierrad kleine und große Schwingungen in gleichen Zeiten macht. Das hatte, fügt er hinzu, ſchon hundert Jahre früher Hook behauptet.“

Aber die Entdeckung, welche Peter Leroy für ſich beanſpruchte, beſteht darin, erkannt zu haben, daß eine Feder von gewiſſer Dicke nur in dem Falle iſochron iſt, wenn man ihr die paſſende Länge gibt, und daß man andrerſeits, wenn die Länge conſtant iſt, um zu demſelben Reſultate zu gelangen, d. h. die Feder iſochron zu machen, im Allgemeinen die Dicke der Feder abändern muß.

An Stelle des Balancierrades als Regulators wendet man bei feſtſtehenden Uhren mit Vortheil das Pendel an.

Man hat verſchiedene Einrichtungen erſonnen, die Verbindung zwiſchen dem Räderwerke und der Unruhe oder dem Pendel herzuſtellen. Denjenigen Theil des Mechanismus, welcher dieſe Verbindung herzuſtellen hat, nennt man das Echappement oder das Stoßwerk.

Bei den Chronometern muß man hauptſächlich darauf ſehen, daß die Unruhe, nachdem ſie einen Stoß durch das Räderwerk erhalten hat, ganz unabhängig ſchwinge. In dieſer Abſicht bedient man ſich des freien Stoßwerks.

Das erſte derartige Stoßwerk hat Thiout beſchrieben; vielleicht hat man auch Dutertre als denjenigen zu betrachten, der bei dieſer Unterſuchung dem Peter Leroy voranging[17]). (Brewster, Encyclop. Horology, S. 132.)

In den Figuren 29 und 30 (S. 58) erblickt man perſpektiviſch und im Aufriſſe das freie Echappement, wie es einer der geſchickteſten franzöſiſchen Künſtler, Herr Breguet conſtruirt*).

*) Das Hauptſtück in dieſem Stoßwerke iſt ein ſtarker Stahlfederſtreifen Z, der in Y eine Hemmung aus Rubin hat, auf die nach und nach jeder Zahn des Echappementrades V trifft. Dieſe Feder Z iſt überdies mit einer kleinen und ſehr biegſamen Auslöſungsfeder y verſehen. Der kleine Anſatz c der Unruhe hebt die kleine Feder y, ſobald die Bewegung in der einen Richtung, nämlich von oben geſehen rechtsum, ſtattfindet, während unterdeſſen ſowohl die große Feder als das Echappementrad in Ruhe bleiben. Bewegt ſich

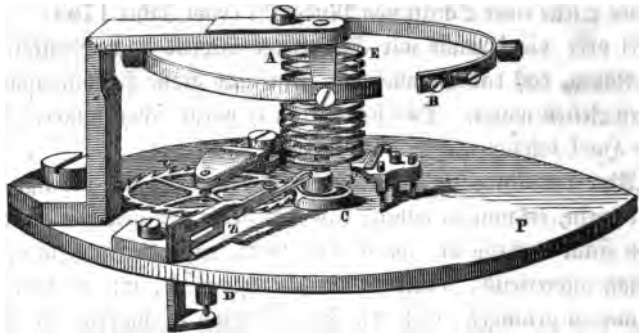


Fig. 29. — Anſicht des Breguet'ſchen freien Stoßwerks

In den gewöhnlichen, ſowohl tragbaren als feſtſtehenden Uhren bedient man ſich des Anker- oder Cylinder-Echappements; dabei findet aber ſtets eine Reibung der Zähne des Echappements-Rades M ſtatt, z. B. am Anker P, welchen die Fig. 31 darſtellt.

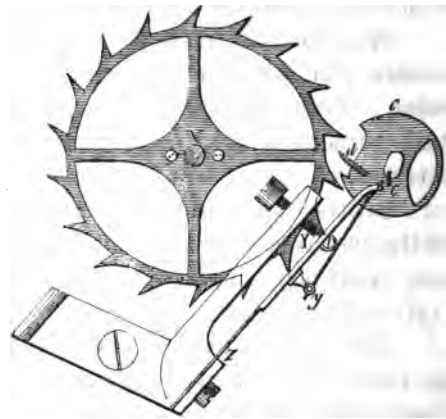


Fig. 30. — Aufriß des freien Stoßwerks.

Mit Hülfe der 31. Figur (S. 59) wird es dem Leſer anſchaulich werden, wie man die gezähnten Räder untereinander verbinden kann, um dem Secundenzeiger A, dem Minutenzeiger E und dem Stundenzeiger H die gehörigen Geſchwindig-

hierauf aber die Unruhe nach der entgegengeſetzten Seite, ſo wird die Feder Z zurückgedrückt, und ein Zahn des Echappementrades wird frei. In demſelben Augenblicke trifft ein zweiter Zahn die ausgebrochene Stelle d des Kreiſes C, der an der Axe des Balanciers B befeſtigt iſt. Dadurch wird letzterem ein Stoß gegeben, der die Bewegung unterhält, ohne daß es nöthig ſei, das Räderwerk direct auf die Unruhe einwirken zu laſſen, welche überdies mit der Spiralfeder AES verſehen iſt.

tionen zu ertheilen, und ſie alle drei in derſelben Richtung herumzuführen. In der That haben wir bereits oben geſehen (S. 44), daß Ariſtoteles vollkommen erklärt, wie es kommt, daß zwei ſich berührende gezähnte Räder in entgegengeſetzter Richtung umlaufen müſſen. In Folge deſſen muß man, um die Räder A, E, H in übereinſtimmender Richtung umlaufen zu laſſen, ſich der Zwiſchenräder B, D, F bedienen, welche der Bewegung der drei Zeiger eine und dieſelbe Richtung geben werden.

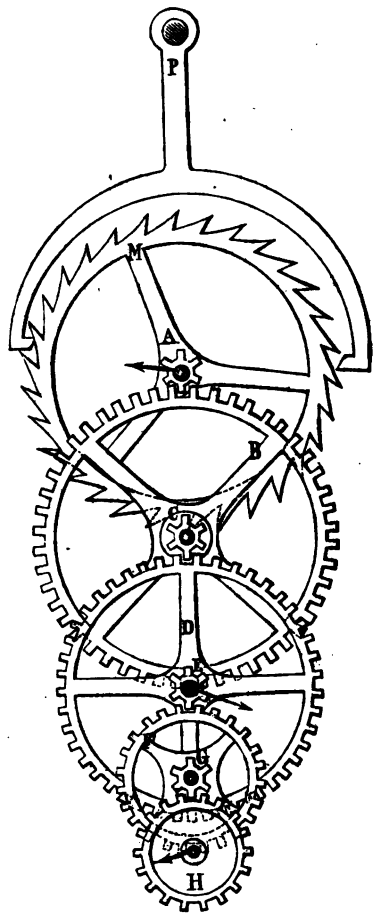


Fig. 31. — Syſtem der gezähnten Räder in einer Pendeluhr.

Angenommen nun, das Rad des Stoßwerks habe (wie in beiſtehender Figur) 30 Zähne, ſo wird daſſelbe (M), wenn ſeine Bewegung durch ein Secundenpendel geregelt wird, einen Umlauf in 60 Secunden vollbringen, indem es zweier Schwingungen bedarf, damit ein Zahn an die Stelle des vorhergehenden trete. Der Secundenzeiger wird alſo in einer Minute das Zifferblatt durchlaufen, und ebenſo das unveränderlich mit dem Echappementrade verbundene Triebrad A. Iſt dies letztere nun mit 6 Zähnen verſehen und greift es in das Rad B mit 48 Zähnen, ſo werden B und das dazugehörige Triebrad einen Umlauf machen, während der Secundenzeiger deren 8 vollendet. Das Triebrad C greift nun wieder mit ſeinen 6 Zähnen in das Rad D von 45 Zähnen, welches letztere zugleich mit ſeinem Triebrade E und folglich

mit dem Minutenzeiger einen Umlauf in Zeit von $7^1/_2$ Umläufen des Rades B vollbringt, d. h. während der Secundenzeiger $8 \times 7^1/_2$ oder 60 Mal den ganzen Kreis durchläuft. Damit iſt ein ſolches Verhältniß der Geſchwindigkeiten beider Räder erlangt, wie es beim Zeitmaaße in Anwendung kommt.

Wenn nun ferner das Triebrad E von 6 Zähnen in das Rad F von 24 Zähnen eingreift, ſo werden ſowohl dies letztere als das dazugehörige Triebrad G einmal umlaufen, in der Zeit wo E viermal im Kreiſe herumgeht. Wenn dann ſchließlich das Triebrad G mit 6 Zähnen in das Rad H mit 18 Zähnen eingreift, ſo müſſen ſowohl H als der Stundenzeiger einen Umlauf in der Zeit von 3 Umläufen des Rades G machen, und von 12 Umläufen des Rades E. Da nun der Minutenzeiger ſein Zifferblatt in 1 Stunde durchläuft, ſo ſieht man, daß der Stundenzeiger das ſeinige nun erſt in 12 Stunden einmal oder in 24 Stunden, d. h. während der Dauer des Tages, zweimal durchläuft.

Auf dieſe Weiſe macht in 24 Stunden der Secundenzeiger A 1440 Umläufe, der Minutenzeiger 24 und der Stundenzeiger 2; wir erhalten mit andern Worten 24 Stunden, 1440 Minuten und 86400 Secunden, und damit iſt die Aufgabe gelöſt, welche wir uns geſtellt hatten. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß die Uhrmacher ihre Räderwerke ſo einrichten, daß ſie ſo wenig Raum als möglich einnehmen, und daß ſie zugleich unter den beſtmöglichen Bedingungen arbeiten: nur die Hauptprincipien ſollten hier in Kürze angedeutet werden, um in wenigen Worten vom Gange der Pendeluhren und der Chronometer oder Zeithalter eine Vorſtellung zu geben.

Anmerkungen der deutſchen Ausgabe.

Zum zweiten Buch.

1. S. 39. Für dieſe Wunderthat des Propheten Jeſaias hat man (ſeltſam genug) geglaubt, eine natürliche Erklärung auf mathematiſchem Wege gefunden zu haben, ſeitdem der Portugieſe Peter Nonius zuerſt die überraſchende Bemerkung gemacht hatte, daß wenn auf einer horizontalen Sonnenuhr mit verticalem Zeiger an einem zwiſchen Aequator und Wendekreiſen belegenen Orte, der Schatten der Zeigerſpitze die Stunden angibt, ein Retrogradiren des Schattens in der That ein-

irten kann. Es iſt hierzu einfach nöthig, daß die Sonne zwiſchen Zenith und dem nächſtbelegenen Wendekreiſe hindurchgehe. Nun liegt Jeruſalem freilich nicht in der Tropenregion, aber man kann dieſelbe Erſcheinung, wie ſchon Montucla bemerkte (Histoire I. S. 739, note du IV livre), an einem beliebigen Orte hervorrufen, wenn man der ebenen Sonnenuhr eine ſolche Neigung gegen den Horizont gibt, daß das Inſtrumentenzenith zwiſchen das Zenith des Orts und den nächſtbelegenen Wendekreis hineinfällt. In dem Falle iſt ſie nämlich, wie man ſieht, einer innerhalb der Tropen aufgeſtellten Sonnenuhr parallel, und muß nothwendig analoge Erſcheinungen zeigen.

2. S. 39. So berichtet Diogenes Laërtius von Anarimander; Plinius ſcheint hinzuzufügen, daß bei Aufſtellung der erſten Sonnenuhr in Griechenland nur des Thales Lehren in Anwendung gebracht wurden — sphueram in ea Milesius Anaximander. Hist. natur. VII, c. 57.

3. S. 40. „Zu Rom hat, nach Ausſage des Fabius Veſtalis, L. Papirius Curſor die erſte Sonnenuhr beim Quirinus-Tempel aufgeſtellt, eilf Jahre bevor der Krieg mit Pyrrhus begann. Er erfüllte damit ein Gelübde, das ſein Vater gethan hatte. Doch ſagt Fab. Veſtalis weder wie die Uhr eingerichtet war, noch wer ihr Verfertiger geweſen; ebenſowenig erfährt man, woher ſie gekommen, noch von welchem Schriftſteller der Sache Erwähnung geſchehen.“ Plinius, VII, c. 60. — Was Plinius an derſelben Stelle von der zweiten Sonnenuhr zu Rom erzählt, welche 30 Jahre ſpäter aufgeſtellt wurde, zeigt, wie äußerſt gering damals die aſtronomiſchen Kenntniſſe der Römer ſein mußten. Die im erſten puniſchen Kriege aus dem eroberten ſicilianiſchen Catina nach Rom geſchaffte Sonnenuhr zeigte nämlich, wegen des Breitenunterſchiedes von $4^1/_2$ Graden und wohl auch wegen fehlerhafter Aufſtellung, die Stunden ganz merklich unrichtig; aber dieſer Fehler wurde erſt 99 Jahre ſpäter durch den Cenſor Marcius Philippus berichtigt. So war es möglich, daß bei den Römern ſelbſt noch zu Seneca's Zeiten der Spruch galt: facilius inter philosophos quam inter horologia conveniet.

4. S. 40. Eine ſehr ausführliche Beſchreibung der bei den Alten gebräuchlichen Sonnenuhren hat uns Vitruv im 9. Buche der Architektur überliefert; auch ſind ſeit der Mitte des vorigen Jahrhunderts, ſeitdem man die erſte altrömiſche Sonnenuhr zu Tusculum aufgefunden hatte (1741, zuerſt ausführlich beſchrieben und abgebildet von Zuzzeri), nicht wenige andere in Italien ausgegraben worden. Im 9. Kapitel des angeführten Buchs findet man auch die Beſchreibung der auf S. 42 abgebildeten Uhr des Kteſibius.

5. S. 41. Z. B. beim Cicero aquam perdere, aqua mihi haeret etc. Aquam sustinere nannte man das Einhalten der Uhr während der Zeugenverhöre oder während des Vortrags von Geſetzesſtellen; mitunter verdoppelten auch die Richter außerordentlicher Weiſe die zum Reden vergönnte Zeit, und das nannte man clepsydras clepsydris addere.

6. S. 43. Kteſibius, eines Barbier's Sohn zu Alexandrien, wird gewöhnlich in die Zeit des Ptolemäus Euergetes geſetzt.

7. S. 43. Im französischen Texte wird irrthümlich auf das neunte Kap. des 7. Buchs verwiesen.

8. S. 44. Arago gibt die Uebersetzung des Urtextes so wie sein College im Institut, Herr Barthélemy Saint-Hilaire sie ihm mitgetheilt hatte; derselben ist man auch im deutschen Texte gefolgt.

9. S. 45. Von dem im Texte mehrfach erwähnten Ktesibius wird allgemein angenommen, daß er zuerst in der geschilderten Weise die hydraulische Maschine mit einem Räderwerke in Verbindung gesetzt habe. Bei den Römern fanden diese Constructionen zwar großen Beifall, doch vervollkommnete sie Niemand, und bald ist von keinem merkwürdigen Uhrwerke weiter die Rede. Erst spät, im 8. Jahrhunderte, als Papst Paul I. Pipin dem Kleinen eine Räderuhr zum Geschenk machte, beginnt von Neuem das Interesse für diese Instrumente, die man damals als neuerfunden betrachtete. Welche Bewunderung bald darnach die Räderuhr erregte, die Harun-al-Raschid (807) an Karl den Großen übersandte, ist allgemein bekannt. Der bereits oben (S. 46) angeführte Pater Alexander hält auch dieses Kunstwerk für eine Wasseruhr.

10. S. 46. Von den nächtlichen Beobachtungen des heiligen Hugo in der Abtei zu Cluny erzählt die Bibliotheca Cluniacensis S. 448.

11. S. 46. Benedict. Haefteni Monast. Disquisit. Genaueres über die Sonnen- und Wasseruhren bei den Griechen und Römern, sowie im Mittelalter, kann man nachlesen in Poppe's Ausführl. Geschichte der theoretisch-praktischen Uhrmacherkunst. Leipzig 1801.

12. S. 46. Die große Uhr, welche im Jahre 1370 im pariser Justizpalaste aufgestellt wurde, war die erste derartige zu Paris, in einer Zeit, wo man in Erbauung großer und überaus künstlicher Uhrwerke zu wetteifern begann. Gleich berühmt, aber noch älteren Ursprungs als die Uhr im Justizpalaste, waren damals die Uhr des englischen Benedictiners Richard Wallingford, die bereits im Anfange des 14. Jahrhunderts zu London aufgestellt wurde, und die Uhr zu Courtray, welche späterhin in Dijon befindlich, und die vermuthlich schon mit einer Art Schlagwerk versehen war.

13. S. 46. Bernhard Walter, Regiomontan's Schüler und Mitarbeiter in der Astronomie, und der Erbe der Beobachtungen, Instrumente und Bücherſammlung jenes großen Astronomen, lebte nach Doppelmayr von 1430 bis zum Mai 1504 (Historische Nachricht von den Nürnbergischen Mathematicis und Künstlern S. 23 u. f.). In der von Joh. Schoner besorgten Ausgabe der Nürnberger Beobachtungen des Regiomontan und Walther us (Norimb. 1544), wird S. 50 angeführt, daß Walther's Uhr bei den Beobachtungen der Sonne von einem Tage zum andern so gut wie keinen Unterschied gezeigt habe. Doch vermuthet Lalande, daß die Genauigkeit nicht weiter als bis zu einzelnen Minuten reichte. Astronomie, 3. édit. §. 2459.

14. S. 47. Von den vier großen Uhren, deren sich Tycho Brahe bei seinen astronomischen Beobachtungen bediente, findet man Abbildungen, freilich nur der Uhrkasten und der Zifferblätter, in Tycho's Astronomiae instauratae Mecha-

nica. Wandesburgi 1598. Diese Uhren zeigten nun schon die einzelnen Secunden, und Tycho selbst sagt zu ihrem Lobe: aequalitatem revolutionis coelestis aemulantur. Und dennoch zog es der große Beobachter häufig vor, die Zeit seiner Beobachtungen durch direct gemessene Höhen oder Azimute von hellen Sternen zu bestimmen. Von seinen Bemühungen um die Herstellung guter Uhren erzählt er auch im 1. Buche der Progymnasmata (Uranib. et Prague 1602).

15 S. 55. „Um das Jahr 1000 bedienten sich Ebn-Junis und die andern arabischen Astronomen bei ihren Beobachtungen gewöhnlich des schwingenden Pendels, ohne dasselbe jedoch mit einem Räderwerke in Verbindung zu setzen .... Sanctorius beschreibt in seinem Commentar zum Avicenna ein Instrument, das er schon im Jahre 1612 mit dem Pendel verbunden hatte." Leider führt Thomas Young mit keinem Worte an, worauf sich die Annahme vom Gebrauche des Pendels bei den Arabern stützt; aus den Fragmenten wenigstens des Ebn-Junis, soweit sie durch Caussin's Uebersetzung bekannt geworden sind, möchte sich eine Andeutung dieses Gebrauchs schwerlich nachweisen lassen. Die französische Uebersetzung der Beobachtungen des Ebn-Junis zu Cairo findet man im siebenten Bande der Notices et Extraits des manuscripts de la bibliothèque nationale. Paris an XII. S. 16 u. f.

16. S. 57. Auch Derham nimmt die Erfindung der an den Uhren angebrachten Spiralfeder für Dr. Hook in Anspruch (The artificial Clockmaker, Chap. X).

17. S. 57. Das freie Stoßwerk wird fast allgemein für eine Erfindung Rudge's, des berühmten Schülers von Graham, gehalten; Ferd. Berthoud hat dasselbe indessen wesentlich vervollkommnet. Im zweiten Bande der Histoire de la mesure du Temps par les horologes (Chap. I.) sind die verschiedenen Stoßwerke beschrieben und abgebildet, welche Julien und Pierre le Roy, Sully, Detertre, Berthoud und einige Andere nach und nach vorgeschlagen haben.

Drittes Buch.

Vorbegriffe aus der Optik.

Erstes Kapitel.

Eigenschaften des Lichts.

Das Licht ist jenes Etwas, sei es ein Stoff oder eine Bewegung, welches durch sein Eintreten in unser Auge macht, daß wir die äußern Gegenstände wahrnehmen.

Die ununterbrochene Lichtmasse, welche von einem leuchtenden Körper ausgehend, sich im Raume ausbreitet, kann angesehen werden als eine Anzahl leuchtender, nebeneinander liegender Linien ohne merkliche Durchmesser: diese Linien nennt man Lichtstrahlen.

Mehrere Lichtstrahlen faßt man zusammen unter dem Namen Strahlenkegel, und bezeichnet dagegen gewöhnlich mit dem Worte Strahlenbündel eine Anzahl von Strahlenkegeln; der Bündel hat eine gewisse Ausdehnung in der auf der Fortpflanzung transversalen Richtung.

Eine durchsichtige Substanz, durch welche das Licht hindurchgeht, nennt man in der Optik ein Mittel. Das Mittel kann ein homogenes oder ein heterogenes sein; diese beiden Bezeichnungsweisen bedürfen keiner Erklärung.

Im leeren Raume oder in einem gleichförmig beschaffenen Mittel pflanzt sich das Licht in gerader Linie fort. Für diese Wahrheit gibt es zwei Beweise: die Erfahrung und den Grundsatz, der in vorliegendem

Falle nicht weniger Beweiskraft hat, daß wenn Licht sich im leeren Raume oder in irgend einem Mittel von gleichförmiger Dichtigkeit fortpflanzt, nichts den Strahl veranlaßt, nach einer oder der andern Richtung hin abzuweichen.

Zweites Kapitel.

Reflexion des Lichts.

Fällt ein Lichtstrahl auf eine ebene, spiegelnde Fläche, so wird er unter einem Winkel mit der Senkrechten an dem Punkte, wo er die Einfallsfläche trifft, zurückgeworfen, welcher dem Einfallswinkel gleich ist.

In Fig. 32 mögen AB die spiegelnde Ebene bezeichnen und RJ einen Lichtstrahl, den man den einfallenden Strahl nennt; ferner sei JP die Senkrechte auf AB im Punkte J, so ist JS der zurückgeworfene Strahl.

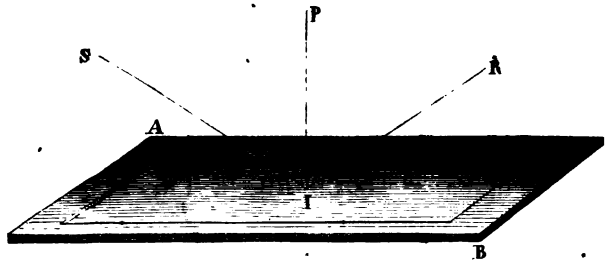


Fig. 32. — Gesetz der Reflexion des Lichts.

Den Winkel RJP nennt man den Einfallswinkel, und den Winkel PJS den Reflexionswinkel. Der Reflexionswinkel ist nun dem Einfallswinkel jedes Mal gleich. Alle Beobachtungen stimmen darin überein, daß je kleiner der Winkel RJP, desto kleiner ist auch seinerseits der Winkel PJS. Wird jener gleich Null, d. h. fällt der Strahl auf die spiegelnde Ebene in der Richtung der Senkrechten JP, so fällt auch der Strahl JS mit dieser Senkrechten zusammen; dies bedeutet nichts Anderes als: wenn ein Strahl senkrecht auf eine Ebene auffällt, so

kehrt er in derſelben Richtung zurück, in welcher er gekommen iſt, oder in andern Worten: ſteht der einfallende Strahl ſenkrecht auf der ſpiegelnden Fläche, ſo iſt der zurückgeworfene Strahl ebenfalls ſenkrecht auf derſelben. So wie die Winkel, welche der einfallende und der reflectirte Strahl mit der Senkrechten bilden, einander gleich ſind, ebenſo ſind auch die von beiden Strahlen mit der Fläche gebildeten Winkel von gleicher Größe untereinander.

Es wird nur dieſer ſehr einfachen Erklärungen bedürfen, um vom Wege des Lichts in denjenigen optiſchen Inſtrumenten Rechenſchaft zu geben, in welchen die Reflexion eine weſentliche Rolle ſpielt.

Schon den griechiſchen Schriftſtellern war das Geſetz bekannt, nach welchem das Licht an der Oberfläche eines ebenen Spiegels zurückgeworfen wird. Daß der Einfallswinkel und der Reflexionswinkel einander gleich ſind, wird in der Schrift über Optik, welche Euclid's Namen führt, ganz klar ausgeſprochen. Ptolemäus ſpricht in ſeiner Optik von dieſer Gleichheit ebenfalls als von einer allgemein bekannten Sache.

Drittes Kapitel.

Von den durch Reflexion erzeugten Brennpunkten.

Es mögen in Fig. 33 AB, CD, GH, JK, LN . . . . eine Reihenfolge paralleler Strahlen bedeuten. Ich behaupte daß es möglich iſt, dieſe Strahlen durch Reflexion in einen und denſelben Punkte F des Centralbündels AB zu vereinigen. Angenommen, man läßt dieſen Centralſtrahl auf einen kleinen Spiegel MJ fallen, ſo wird er ſenkrecht auf MJ zurückgeworfen, und auf ſeinem Wege zurückkehrend von Neuem die Linie BA durchlaufen, auf der er gekommen war.

Auf dieſer Geraden BA nehmen wir den Punkt F an, in welchem wir die verſchiedenen Strahlen CD, GH, JK . . . vereinigen wollen. Verbinden wir die Punkte D und F durch eine Gerade FD, ſo iſt klar, daß um die aufgeſtellte Bedingung zu erfüllen, DF der zurückgeworfene Strahl ſein muß, wenn CD der auf den kleinen, jetzt mit M'J' bezeichneten Spiegel einfallende Strahl iſt. Es müſſen alſo die Winkel

CDM' und FDJ' einander gleich ſein. Dieſer Bedingung geſchieht Genüge, ſobald der Spiegel M'J' auf der Linie DP ſenkrecht ſteht, welche den Winkel CDF halbirt.

Ganz genau dieſelbe Schlußweiſe gilt für alle Strahlen, aus denen der einfallende Bündel beſteht, mögen ſie ſich nun zur Rechten oder zur Linken vom Centralſtrahle befinden.

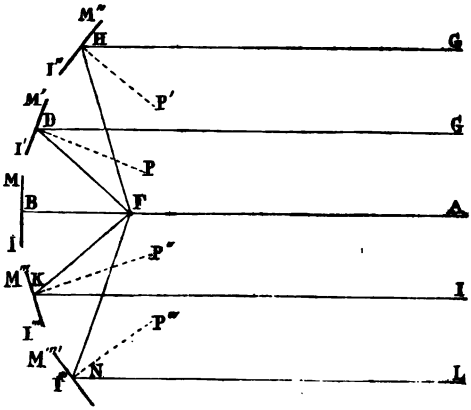


Fig. 33. — Entſtehen der Brennpunkte durch Reflection.

Hieraus geht hervor, daß man durch Anwendung eines Syſtems von Spiegeln M'J', M''J'' .... M'''J''', M''''J'''' ...., die mehr und mehr gegen den Centralſpiegel MJ geneigt ſind, dahin gelangt, alle Strahlen, die urſprünglich ſchienen ſich vom Centralſtrahle getrennt fortpflanzen zu müſſen, in einem und demſelben Punkte F dieſes Strahles AB zu vereinigen.

Den Punkt F nennt man den Brennpunkt (focus), und dieſe Benennung iſt paſſend gewählt, da die Wirkungen der Erwärmung und Erleuchtung, welche den verſchiedenen Lichtkegeln AB, CD, GH . . ., aus denen der breite Büſchel beſteht, zukommen, ſich in dieſem Punkte vereinigen und ſummiren.

Betrachten wir nun einen ſphäriſchen Hohlſpiegel BAE (Fig. 34, S. 68), und unterſuchen wir, ob die verſchiedenen, ſehr kleinen Spiegelſtückchen, aus denen man ſich dieſen Spiegel zuſammengeſetzt denken kann, etwa einzeln die Neigungen haben, welche nöthig ſind, um in denſelben Punkt F des Centralſtrahls SCA alle die verſchiedenen Strahlen zu vereinigen, aus denen ein breiter Bündel paralleler Strahlen zuſammengeſetzt ſein mag. Der Strahl SCA, welcher durch den Mittelpunkt C der ſphäriſchen Krümmung des Spiegels geht, trifft ſenkrecht auf dieſen letzteren, und kehrt folglich in derſelben Richtung CA zurück.

Denken wir uns jetzt die ganze Spiegeloberfläche geſchwärzt, mit einziger Ausnahme des Punktes D, ſo daß in dieſem Punkte allein eine Reflexion ſtattfinden kann. Der Strahl SD wird alsdann, nach der Reflexion in D, den Centralſtrahl AC in einem Punkte F treffen, den uns die Beobachtung nachweiſt.

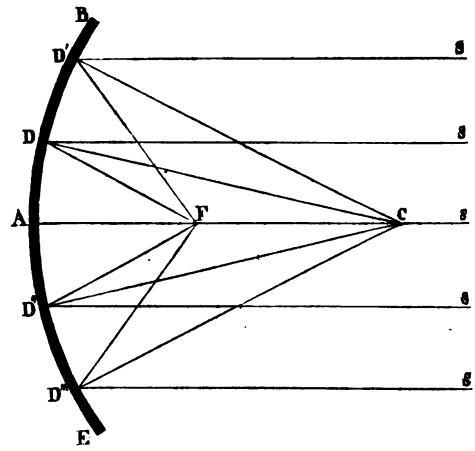


Fig. 34. — Brennpunkt eines Hohlſpiegels.

Während wir nun aber den Punkt D ſchwärzen, ſollen der Reihe nach die Punkte D', D'', D''' ... dieſes Spiegels entblößt werden, alle in verſchiedenen Entfernungen vom Punkte A belegen. Dann vereinigen ſich in dem vorhin beſtimmten Punkte F alle von jenen Punkten D', D'', D''' ... reflectirten Strahlen. Man ſchließt daraus, daß ein ſphäriſcher Spiegel es möglich macht, in einem einzigen Brennpunkte alle parallelen Strahlen zu vereinigen, aus denen ein breites Lichtbündel zuſammengeſetzt iſt. Läßt man dagegen umgekehrt vom Punkte F divergirende Strahlen ausgehen, ſo werden dieſelben, nachdem ſie von der Spiegelfläche zurückgeworfen, untereinander und mit dem Strahle AFC parallel ausfahren. Dieſer Punkt F iſt der Brennpunkt; im Falle paralleler Strahlen, wenn zugleich der Spiegel im Verhältniſſe zur Kugel, der er angehört, nur klein iſt, liegt dieſer Punkt in der Mitte des Halbmeſſers CA.

Die ablenkende Kraft des Spiegels iſt demnach ausreichend, um die vom Brennpunkte ausfahrenden Strahlen parallel zu machen. Wenn aber die auffallenden Strahlen weniger als im erſten Verſuche divergirten, d. h. wenn ſie von einem Punkte f kämen, der vom Spiegel aus jenſeit des Brennpunkts F (Fig. 35) läge, ſo würden ſie nach der Reflexion nicht, wie vorhin, untereinander parallel ſein, ſondern

convergiren. Sie würden sich also in einem einzigen Punkte f' auf der Geraden AFfC treffen, welcher Punkt vom eigentlichen Brennpunkte F um so entfernter liegt, als die Entfernung Ff kleiner wird. Punkte wie f und f' nennt man conjugirte Brennpunkte.

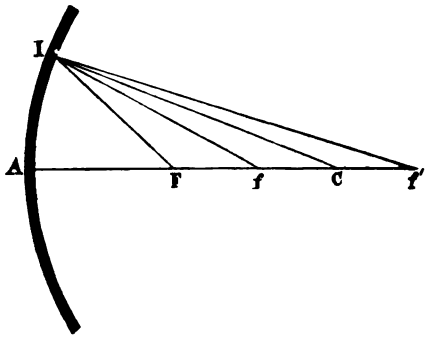


Fig. 35. — Conjugirte Brennpunkte.

Wenn wir nun einem Spiegel BAD (Fig. 36) ein sehr weit entferntes Object EGH gegenüberstellen, so werden die von dem Punkte G nahezu parallel ausfahrenden Strahlen sich in F auf dem Strahle GCA vereinigen, welcher, weil er durch den Mittelpunkt des Spiegels geht, der Eigenschaft des Kreises zufolge auf der Spiegelfläche senkrecht steht. Die untereinander parallelen von E kommenden Strahlen, welche den von G kommenden nicht parallel sind, werden sich irgendwo in einem Punkte E' auf der Geraden ECA' vereinigen, welche Linie in A' auf der Spiegel-

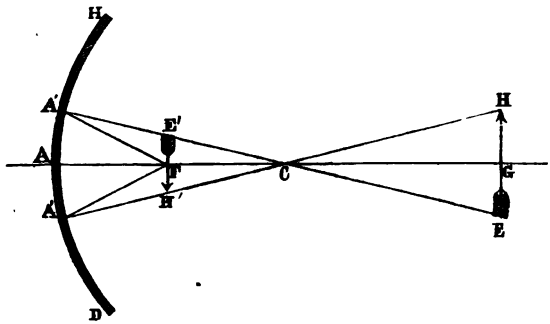


Fig. 36. — Entstehen der Bilder bei Hohlspiegeln.

fläche ebenfalls senkrecht steht, indem sie durch den Kugelmittelpunkt C geht. In derselben Weise werden die von H ausfahrenden Strahlen sich in einem Punkte H' auf der Geraden HCA' vereinigen, welche Linie,

wie in den beiden vorigen Fällen, wiederum auf der Spiegelfläche senkrecht ist.

So wird ein Focalbild E'FH' des Objects EGH entstanden sein.

Viertes Kapitel.

Von der Brechung.

Es soll gegenwärtig untersucht werden, wie ein Lichtstrahl beim Uebergange aus einem Mittel in ein anderes, dichteres Mittel sich verhält.

Trifft der leuchtende Strahl die Trennungsfläche beider Mittel senkrecht, so setzt er seinen Weg geradlinig fort. Durchaus verschieden ist aber der Vorgang, sobald der Strahl in schräger Richtung die Trennungsfläche trifft; dann wird er nämlich im Einfallspunkte gebrochen, und verfolgt im zweiten Mittel eine Richtung, welche keineswegs die Verlängerung des einfallenden Strahls ist.

Es möge in Fig. 37 AB die in Rede stehende Trennungsfläche sein, ferner RJ der einfallende Strahl und PJP' die Senkrechte auf der Trennungsfläche. Dann wird der Strahl RJ, statt sich in der Richtung RJR' fortzubewegen, die Richtung JV verfolgen, welche sich der Senkrechten mehr nähert als die Verlängerung JR'. Der Winkel VJP' ist kleiner als der Winkel RJP. Letzterer heißt der Einfallswinkel, während man den Winkel VJP' den Brechungswinkel nennt.

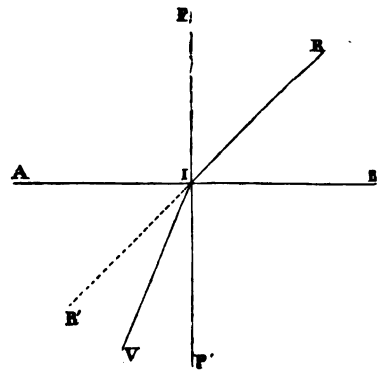


Fig. 37. — Brechung des Lichts.

Für das weiterhin Mitzutheilende würde es ausreichend sein, nur folgendes Resultat festzuhalten: **der Brechungswinkel ist kleiner als der Einfallswinkel, wenn das Licht aus Luft**

in ein dichteres Mittel übergeht; da es uns aber eine ungemein einfache Figur gestattet, das Gesetz, nach welchem die Brechung unter allen möglichen Brechungswinkeln vor sich geht, zu erklären, so will ich es hier angeben.

In Fig. 38 bedeutet AB die Trennungsfläche der beiden Mittel, RJ den einfallenden Strahl, PJP′ die Senkrechte auf der Oberfläche AB im Einfallspunkte, und endlich JV den gebrochenen Strahl. Vom Punkte J als Mittelpunkt, beschreiben wir mit beliebigem Halbmesser den Kreisumfang apbp′. Der Bogen np ist das Maaß des Einfallswinkels, und der Bogen vp′ das Maaß des Brechungswinkels; ferner seien die Senkrechten nm und vn′ auf PP′ gezogen. Alsdann stehen für zwei gegebene Mittel und für alle möglichen Einfallswinkel die geraden Linien nm und vn′ in unveränderlichem Verhältnisse. Da man nun in der Trigonometrie dasjenige Perpendikel, welches von dem einen Ende eines Bogens auf den nach dem andern Ende desselben Bogens gezogenen Halbmesser gefällt ist, den Sinus dieses Bogens nennt, und demnach nm der Sinus des Einfallswinkels ist, ebenso wie vn′ der Sinus des Brechungswinkels, so kann man das Gesetz folgendermaßen aussprechen: Die Brechung des Lichts zwischen zwei Mitteln geschieht jedes Mal in der Art, daß der Sinus des Einfallswinkels in constantem Verhältnisse zum Sinus des Brechungswinkels steht.

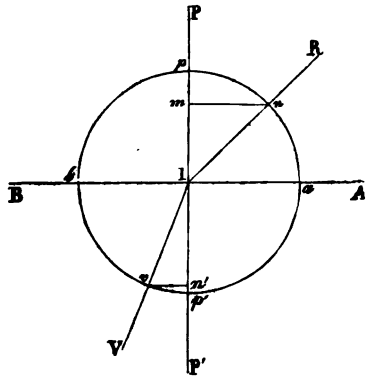


Fig. 38. — Das Sinusgesetz.

Dies ist das berühmte Gesetz, welches Descartes aufgestellt hat, eine Entdeckung, die man ihm ohne zulässigen Grund hat absprechen wollen [1]).

Wenn die Einfalls- und Brechungswinkel klein sind, kann man die Sinus den Winkeln nahezu proportional setzen, so daß sich, zwischen engen Neigungsgränzen, behaupten läßt, der Brechungs-

winkel sei ein bestimmter aliquoter Theil des Einfallswinkels. Sobald diese Winkel indessen etwas beträchtlich sind, und man den Brechungswinkel streng finden will, muß man durchaus von dem Sinusgesetze Gebrauch machen.

Beim Uebergange des Lichts aus Luft in Wasser ist das Verhältniß der Sinus wie 4 zu 3. Daraus folgt, daß für einen Einfallswinkel von 10° der Brechungswinkel 7° 29′ beträgt; daß ferner einem Einfallswinkel von 45° der Brechungswinkel 32° 1′ entspricht, und endlich, daß zu einem Einfallswinkel von 89° der Brechungswinkel 48° 34′ gehört. Nichtsdestoweniger werden die Sinus nicht nothwendig in Betracht kommen bei der elementaren Erklärung, welche hier von der Wirkung der Linsen gegeben werden soll.

Den Weg des gebrochenen Lichtstrahls haben wir soeben beschrieben für den Fall, wo dieser Strahl aus einem dünnen Mittel in ein dichtes übergeht. Wie steht es dagegen mit der Brechung beim Uebergange eines Lichtstrahls aus einem dichten Mittel in ein dünnes? Die Brechung findet dann in entgegengesetztem Sinne statt, d. h. der Strahl wird sich beim Austritte aus dem dichten Mittel von der Senkrechten entfernen, ohne jedoch vom Sinusgesetze abzuweichen.

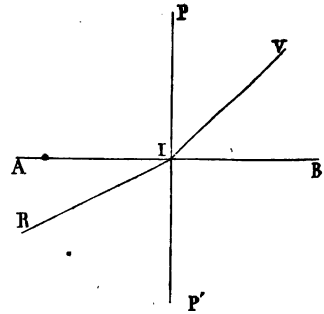


Fig. 39. — Uebergang des Lichts aus einem dichteren Mittel in ein weniger dichtes.

Wenn also VJ (Fig. 39) den einfallenden Strahl vorstellt, so wird JR der gebrochene sein; der Lichtstrahl würde also, wenn er seinen Weg in entgegengesetzter Richtung machte, genau dieselbe Bahn zurücklegen, welche er beim Uebergange aus dem dünnen Mittel in das dichte verfolgt hatte.

Daß das Licht beim Uebergange aus Luft in Wasser oder in Glas eine Brechung erleidet, ist schon den Alten bekannt gewesen.

Eine Tafel der Größe dieser Brechung findet sich in Vitellio's Optik. Eine ganz ähnliche Tafel, die vielleicht Descartes zur Auffindung des Sinusgesetzes gedient hat, enthielt schon Ptolemäus' Optik,

wie aus den Manuſcripten dieſes griechiſchen Schriftſtellers, die man erſt vor wenigen Jahren in der Sammlung der großen pariſer Bibliothek aufgefunden hat, nachgewieſen worden iſt.

In derſelben Optik des Ptolemäus trifft man eine ſehr deutliche Stelle in Betreff derjenigen Brechung, welche die Lichtſtrahlen der Sterne in der Erdatmoſphäre erleiden. Der Verfaſſer führt dort Beobachtungen an, welche das Vorhandenſein dieſer Brechung zweifellos machen; es ſcheint jedoch nicht, daß er den Betrag derſelben beſtimmt, noch ſich ihrer je bedient habe, ſeine eigenen Beobachtungen oder die ſeiner Vorgänger zu corrigiren. Ueber die Urſache dieſer Brechung drückt er ſich folgendermaßen aus: „Sie rührt von der Einbiegung her, welche der Lichtſtrahl bei ſeinem Durchgange durch die Trennungsfläche des Aethers und der Luft erleidet; dieſe Fläche iſt nothwendig ſphäriſch und ihr Mittelpunkt iſt der Erdmittelpunkt [2]).“

Fünftes Kapitel.

Weg des Lichts durch Prismen.

Wir wollen zunächſt unterſuchen, welchen Weg ein Lichtſtrahl beim Durchgange durch eine Glasplatte mit parallelen Flächen verfolgt.

AB und CD (Fig. 40) mögen die beiden Flächen einer ſolchen Glasplatte vorſtellen, und RJ den aus der Luft einfallenden Strahl. Dieſer Strahl, ſtatt im Glaſe die durch Punkte angedeutete Richtung JR′ zu verfolgen, wird den Weg JV einſchlagen, welcher der Senkrechten PJP′ näher liegt; aber beim Austritte aus dem Glaſe, im Punkte V, wird

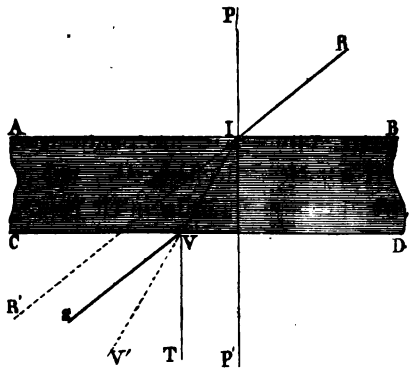


Fig. 40. — Durchgang des Lichts durch eine Glasplatte mit parallelen Flächen.

der Strahl, indem er sich jetzt von der Senkrechten VT wiederum entfernen muß, nicht die punktirte Richtung VV′, sondern den Weg VS verfolgen, welcher dem ursprünglich einfallenden Strahl RJR′ parallel sein wird.

Den Strahl RJ nennt man den einfallenden, den Strahl VS den austretenden Strahl.

Beide sind untereinander parallel, wenn die beiden Flächen, durch welche der Strahl in das Glas eintritt und dasselbe verläßt, streng parallel sind. Wäre die Platte nur von sehr geringer Dicke, so würde von beiden Strahlen, der einfallende sowohl als der ausfahrende, einer nahezu auf der Verlängerung des andern liegen. Dies sieht man augenblicklich aus der Figur, ohne daß es weiterer Erläuterung bedürfte.

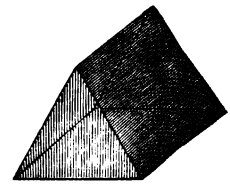


Fig. 41. — Prisma.

Der Lichtstrahl möge nun auf ein Glasstück fallen, welches nicht von parallelen Seitenflächen begrenzt ist, und ein Prisma genannt wird (Fig. 41). Wir denken uns das Prisma durch eine auf der oberen Kante senkrecht stehende Ebene geschnitten, und BA (Fig. 42) mag die erste Seitenfläche, AC die zweite vorstellen; das Glas selbst ende in BC; dann ist A der Winkel des Prismas und BC die Grundfläche desselben. Angenommen nun, ein Lichtstrahl RJ falle senkrecht auf die Seitenfläche AB des Prismas, so wird er, ohne Brechung zu erleiden, in die Glasmasse eindringen. Aber anders wird es sich beim Austritte aus dem Prisma gestalten; dann trifft nämlich der Strahl RJL im Punkte L schief auf die Seitenfläche AC, und wird also beim Austritte in die Luft abgelenkt werden. Um zu finden, nach welcher Richtung hin die Ablenkung stattfindet, errichten wir im Punkte L eine Senkrechte PP′ auf AC; der Lichtstrahl wird alsdann, statt in der punktirten Verlängerung LV von RJL fortzugehen, sich von der Senkrechten PP′ entfernen; er

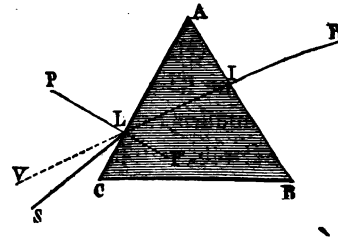


Fig. 42. — Durchgang des Lichts durch ein Prisma, auf welches dasselbe senkrecht aufgefallen ist.

wird folglich aus der Glasmaſſe in der Richtung LS austreten, die verglichen mit der urſprünglichen Richtung RJL, der Grundfläche des Prismas näher liegt. Gleichfalls nach der Grundfläche BC hin findet die Ablenkung des einfallenden Strahls in dem Falle ſtatt, wo RJ in ſchräger Richtung auf AB auffällt (Fig. 43 und 44); mit dem einzigen Unterſchiede, daß die letzte Ablenkung des Strahls nach der Grundfläche hin, alsdann das Ergebniß von zwei Brechungen iſt, welche der Strahl im Punkte J, beim Eintritte in die Fläche BA, und in L, beim Austritte aus der Fläche AC erleidet. In dem vorhin betrachteten Falle dagegen ging die Ablenkung einzig aus der Brechung hervor, welche der Strahl im Punkte L an der Austrittsfläche erfuhr.

Verſuche ſowohl als die Rechnung, und ſelbſt ſchon eine Zeichnung lehren übereinſtimmend, daß der ausfahrende Strahl bei ſeinem Austritte aus dem Prisma um ſo ſtärker abgelenkt wird, oder ſich umſomehr der Grundfläche nähert, je größer der Brechungswinkel des Prismas iſt.

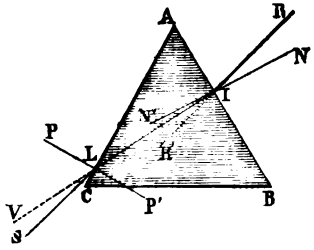


Fig. 43. — Durchgang des Lichts durch ein Prisma, wenn der Strahl ſchief auffällt, und zwar oberhalb der Senkrechten auf der Einfallsfläche.

Nachdem wir ſo den Weg gefunden haben, welchen der einfallende Strahl RJ verfolgt, der vor ſeinem Austritte aus der prismatiſchen Glasmaſſe in der Richtung JL fortging, wollen wir nun LS als einfallenden Strahl betrachten (Fig. 42, 43 und 44), und unterſuchen, in welcher Richtung dieſer neue einfallende Strahl austreten wird. Allen Beobachtungen zufolge wird der Strahl LS in den Strahl JR übergehen, ſo daß man allgemein behaupten kann, daß wenn ein Lichtſtrahl in entgegengeſetzter Richtung zurückkehrt, er genau denſelben Weg einſchlägt, den er beim erſten Durchgange durchlief.

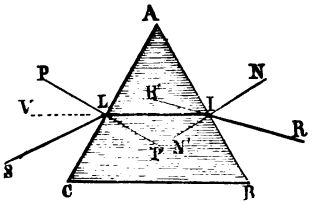


Fig. 44. — Durchgang des Lichts durch ein Prisma, wenn der Strahl ſchief auffällt, und zwar unterhalb der Senkrechten auf der Einfallsfläche.

Aus dem Prisma BAC könnte

man alle zwiſchen dem Punkte J und dem Winkel A, und zwiſchen J und der Grundfläche BC (Fig. 45) gelegenen Körpertheilchen entfernen, und auf dieſe Weiſe das Prisma auf die gewiſſermaßen unendlich kleinen Glasſtückchen einſchrumpfen laſſen, welche dem Einfallspunkte J und dem Austrittspunkte L zunächſt liegen, ohne daß dadurch die Brechung, welche der Strahl RJ erleidet, irgend geändert würde; denn die Glastheilchen, welche von J und von L ein wenig nach rechts oder links entfernt liegen, ſind durchaus ohne Einfluß auf die Ablenkung, welche der Lichtſtrahl erfährt.

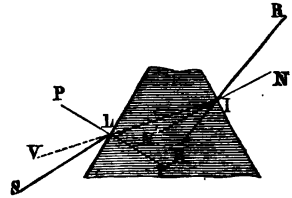


Fig. 45. — Durchgang des Lichts durch ein unvollſtändiges Prisma.

Denken wir uns jetzt einen Bündel paralleler Lichtſtrahlen, welche nach links und nach rechts gleichweit von einem Centralſtrahle RJ (Fig. 46) abliegen. Befindet ſich auf dem Wege des Strahls PQ ein Prisma, deſſen Grundfläche dem Centralſtrahle RJ zugekehrt iſt, ſo

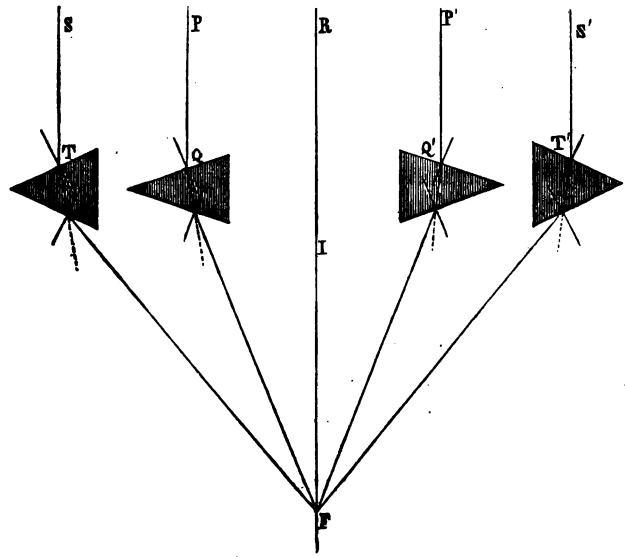


Fig. 46. — Entſtehen der Brennpunkte durch Brechung.

wird dieſer Strahl PQ abgelenkt werden, und in Folge deſſen irgendwo im Punkte F die Axe des Bündels RJ treffen. Man kann es leicht veranlaſſen, daß ein zweiter Strahl ST dem Centralſtrahle in demſelben Punkte F begegne, indem man auf dem Wege dieſes Strahls ein zweites Prisma aufſtellt, das ſich in derſelben Lage wie das erſte befindet, aber einen größern Brechungswinkel hat; denn um ST nach F zu führen, bedarf es einer beträchtlicheren Ablenkung, als für den Strahl PQ erforderlich war.

Ganz daſſelbe könnte man auf der andern Seite des Strahls RJ durch die Prismen Q', T'... bewirken, deren Grundflächen gleichfalls dem Centralſtrahle zugekehrt wären. Iſt nun die Anzahl der Prismen hinreichend groß, ſo kann man mittelſt der Brechung im Punkte F eine Menge Lichtſtrahlen vereinigen, welche ſich ohne dieſen Umſtand parallel und von einander getrennt im Raume fortpflanzen würden.

Eine große Anzahl links und rechts vom Centralſtrahle RJ aufgeſtellter Prismen würden, ſage ich, den beabſichtigten Erfolg herbeiführen, weil man die Dimenſionen der einzelnen Prismen auf die ſehr kleinen Glasflächen beſchränken könnte, welche dem Einfalls- und dem Austrittspunkte zunächſt liegen; nur würden dieſe kleinen Flächen nothwendiger Weiſe dieſelben Winkel miteinander bilden müſſen, welche ſie zuvor als Theile eines ausgedehnten Prismas untereinander machten.

Kann man durch irgend ein Mittel die in F vereinigten Strahlen auf dem umgekehrten Wege zurückſenden, ſo werden dieſelben, nach ihrem Durchgange durch die verſchiedenen Prismen, welche ſie vorher alle in F zuſammenführten, parallel untereinander ausfahren.

Sechſtes Kapitel.

Ueber die Linſen.

Die Kenntniß des im vorigen Kapitel zur Vorbereitung Mitgetheilten vorausgeſetzt, wollen wir jetzt unterſuchen, wie ein Bündel paralleler Strahlen ſich beim Durchgange durch eine Glaslinſe verhalten muß.

In der Optik versteht man unter Linse eine auf beiden Seiten durch krumme Oberflächen begrenzte Glasmasse. Nehmen wir zuerst an, diese beiden Flächen gehören zu einer und derselben Kugel von bestimmtem Halbmesser, und die hohlen (concaven) Seiten seien einander zugewandt.

Die hierneben gezeichnete Figur (47) zeigt das in Rede stehende Glas, welches man wegen seiner Aehnlichkeit mit einer allbekannten Hülsenfrucht eine Linse genannt hat.

Fig. 47. — Linsenglas.

Um die Linse in ihren Bestandtheilen (Elementen) zu betrachten, errichten wir auf der Mitte C derjenigen Sehne AB, welche den die beiden Oberflächen darstellenden Bogen gemeinschaftlich ist, die darauf Senkrechte JE. Diese gerade Linie JE nennt man die Axe der Linse.

Ein Linsenelement kann man in jedem Punkte als mit der Tangente zusammenfallend betrachten. Die beiden Tangenten JJ' und EE', in den Punkten J und E, in welchen die Axe die beiden begrenzenden Kreisbogen trifft, sind untereinander parallel.

Trifft ein der Axe paralleler Lichtstrahl die Tangente in J, und verläßt er also die Linse in E, so bleibt er ungebrochen; denn da die um die Punkte J und E belegenen Glastheile parallel sind, so wirken sie nicht anders als ein Planglas, welches, wie wir sahen, die Lichtstrahlen nicht ablenkt.

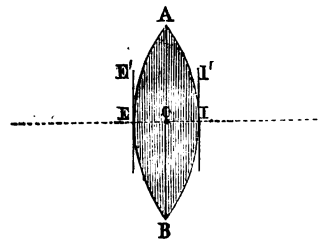


Fig. 48. — Axe der Linse.

Wie aber müssen wir diejenigen Theile der Linse betrachten, welche nach den Punkten A und B, den Rändern der Linse hin belegen sind (Fig. 49, S. 79)? Die Tangenten an den Linsenflächen bilden in der Gegend dieser beiden Punkte einen Winkel miteinander. Die beiden der Axe parallelen Lichtstrahlen, welche an diesen Stellen hindurchgehen, werden so abgelenkt werden, als wenn sie auf ein Prisma gefallen wären mit einer der Linsenaxe zugekehrten Grundfläche; sie werden demnach in einem gewissen Punkte F auf der Verlängerung der Linie JE zusammentreffen; genau dasselbe

wird von allen zwiſchen den Punkten A und J belegenen Punkten gelten, und ebenſo auf der andern Seite von allen zwiſchen demſelben Punkte J und dem Ende B der Linſe liegenden Punkten.

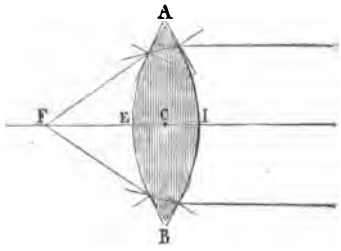


Fig. 49. — Durchgang des Lichts durch eine Linſe.

Alles kommt alſo darauf hinaus, daß diejenigen Strahlen, welche auf die Linſe in der Richtung nach ihrem Mittelpunkte auffallen, ohne Ablenkung durchgehen; die übrigen aber ſämmtlich an kleinen Glasflächen ein und austreten, die untereinander um ſo größere Winkel machen, als dieſe Flächentheilchen weiter vom Mittelpunkte entfernt ſind, und folglich den äußerſten Enden der Linſe näher liegen. Wir werden ſomit auf den aus einer Reihenfolge kleiner Prismen zuſammengeſetzten Apparat zurückgeführt, den wir vorhin zu dem Zwecke erſannen, eine Reihe paralleler Strahlen, die einen breiten Lichtbündel bilden, durch Brechung in einem und demſelben Punkte F einer Centrallinie zu vereinigen.

Damit die Vereinigung dieſer Parallelſtrahlen in einem beſtimmten Punkte F ſtattfand, war es nöthig den verſchiedenen Prismen die gehörigen Winkel beizulegen; es bleibt uns alſo noch zu unterſuchen, ob die reſpectiven Neigungen derjenigen Glasflächentheilchen, auf welche die Strahlen beim Eintritte in eine Linſe und beim Austritte aus derſelben treffen, in der That der geſtellten Bedingung genügen; mit andern Worten, ob die Winkel derjenigen Elementar-Prismen, aus denen die Linſe beſteht, in ihren Aenderungen wirklich ein ſolches Geſetz befolgen, daß die verſchiedenen Strahlen ſich nach ihrer Brechung in einem und demſelben Punkte auf der Centralare vereinigen werden. Ein ungemein einfacher Verſuch lehrt, daß durch einen überaus glücklichen Zufall die ſoeben beſprochene Bedingung faſt mit mathematiſcher Strenge erfüllt wird. Bedeckt man nämlich die Linſe mit ſchwarzem Papier bis auf zwei kleine Oeffnungen (Fig. 50, S. 80), deren eine dem Punkte J, die andere dem Punkte A entſpricht, ſo läßt ſich durch einen Verſuch die Lage des Punktes F ermitteln, in welchem ſich die in A auffallenden Strahlen auf der nicht abgelenkten Linie JF vereinigen.

Schließt man hierauf die Oeffnung A, und wiederholt den Verſuch, indem man in M eine kleine beliebige Oeffnung auf der Einfallsfläche, zwiſchen A und J anbringt (Fig. 51), ſo wird man finden, daß der Vereinigungspunkt F der beiden urſprünglich parallelen Strahlen genau mit dem durch den erſten Verſuch beſtimmten zuſammenfällt. Von J nach A hin, und ebenſo von J nach B hin, wachſen alſo die Winkel der Flächentheilchen in dem Maaße, daß die auf die Linſe auffallenden parallelen Strahlen ſich nach der Brechung in einem und demſelben Punkte F auf der Axe JF vereinigen.

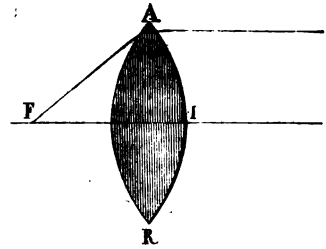


Fig. 50. — Entſtehen des Brennpunktes einer Linſe.

Man nennt den Punkt F den Brennpunkt, weil an dieſer Stelle durch Vereinigung einer großen Menge von Strahlen außerordentliche Wärmewirkungen erzeugt werden.

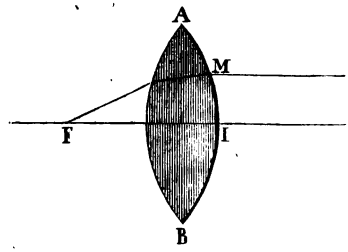


Fig. 51. — Der Brennpunkt einer Linſe iſt unabhängig von den Einfallspunkten.

Der Vergleichung zufolge, die wir zwiſchen der Linſe und einem Syſteme von Prismen aufgeſtellt haben, iſt klar, daß, wenn man von dem Punkte F (Fig. 52) Strahlen auf die Austrittsfläche fallen läßt, dieſe Strahlen bei ihrem Austritte aus der urſprünglichen Einfallsfläche untereinander parallel ſein werden. Dies folgt aus dem bereits mehrfach angeführten Principe, nach welchem Strahlen, wenn ſie zurückgehen, genau den Weg verfolgen, den ſie auf dem Hinwege eingeſchlagen haben.

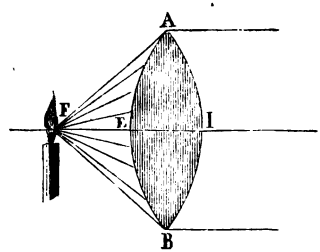


Fig. 52. — Austritt paralleler Strahlen.

Man kann alſo auf folgende beide Weiſen den Hauptbrennpunkt einer Linſe definiren: In dieſem Punkte vereinigen ſich parallele Strahlen, nachdem ſie an beiden Linſenflächen gebrochen worden; oder auch: von dieſem Punkte müſſen die Strahlen ausgehen, um nach der Brechung untereinander parallel auszutreten.

Die ablenkende Kraft der Linſe vermag alſo gerade die vom Punkte F ausgehenden, divergirenden Strahlen, welche die ganze Linſenfläche treffen, genau untereinander parallel zu machen.

Gingen dagegen die Strahlen, ſtatt vom Punkte F, von dem zwiſchen dem Brennpunkte F der parallelen Strahlen und der zweiten Linſenfläche belegenen Punkte F′ aus, wäre, kurz geſagt, die Divergenz der Strahlen größer als die Divergenz des von F ausgehenden Lichtes, ſo würden die Strahlen bei ihrem Austritte aus der Fläche AJB noch ein wenig divergiren, denn nun würde die ablenkende Kraft der Linſe nicht mehr vermögend ſein, ſie wiederum parallel zu machen.

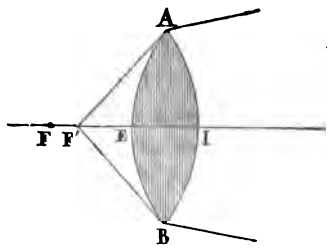


Fig. 53. — Divergenz der Strahlen, die von einem näher als der Hauptbrennpunkt bei der Linſe belegenen Punkte ausgehen.

Wären die Strahlen andernfalls von einem Punkte F″ (Fig. 54) ausgegangen, der jenſeit des Brennpunktes F belegen, ſo würden ſie weniger divergirend als die von F ausgegangenen Strahlen die Linſe treffen, und dieſe letztere, welche gerade die von F kommenden Strahlen parallel zu machen vermochte, würde nun eine zu große ablenkende Kraft beſitzen, um dieſelbe Wirkung auf die von F″ kommenden Strahlen zu

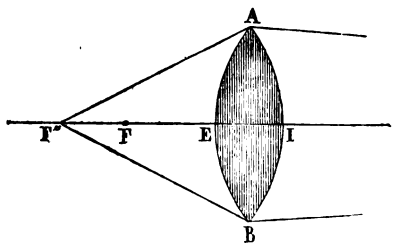


Fig. 54. — Convergenz der Strahlen, die von einem zwiſchen der Linſe und dem Hauptbrennpunkte belegenen Punkte ausgehen.

äußern, so daß diese Strahlen bei ihrem Austritte aus der Oberfläche AJB convergiren würden.

Man hat sich also diese drei wichtigen Ergebnisse fest einzuprägen:

Die vom Brennpunkte einer Linse kommenden Strahlen fahren untereinander parallel aus, nachdem sie durch beide Oberflächen der Linse gegangen sind.

Die von einem entfernter als der Brennpunkt belegenen Punkte ausfahrenden Strahlen treten convergirend aus.

Die von einem zwischen Brennpunkt und Linsenoberfläche belegenen Punkte kommenden Strahlen treten divergirend aus.

In der Folge werden wir veranlaßt sein, aus dieser dreifachen Eigenschaft Nutzen zu ziehen; sie läßt sich im Grunde auch folgendermaßen aussprechen:

Für eine gegebene Linse bestimmt man zunächst den Brennpunkt F der parallelen Strahlen (Fig. 55); fallen dann neue, einigermaßen divergirende Strahlen auf die Linse, so vereinigen sie sich in einem Brennpunkte F″, der weiter als der Brennpunkt F von der Linse abliegt; fallen dagegen convergirende Strahlen auf die Linse, so vereinigen sie sich in einem Brennpuntte F′, welcher der Linse näher liegt als der Brennpunkt F der parallelen Strahlen.

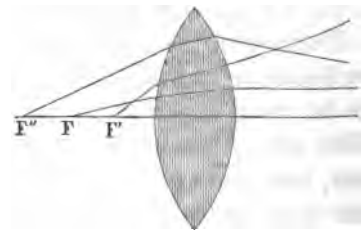


Fig. 55. — Die secundären Brennpunkte einer Linse.

Bisher haben wir den Weg der Strahlen verfolgt, wenn Licht durch eine Glasmasse geht, die von gleichen sphärischen Oberflächen begrenzt wird, wenn letztere einander ihre hohlen Seiten zukehren und dem Ganzen dadurch eine Linsengestalt geben. Zu ganz ähnlichen Resultaten würden wir selbst dann gelangen, wenn das Glas einerseits von einer sphärischen, andrerseits aber von einer ebenen Oberfläche begrenzt wird, mit dem einzigen Unterschiede, daß dann die Brennweite eine andere wäre. Ein solches Glas, für das man sehr uneigentlich

den Namen Linſe beibehalten hat, heißt eine plan-convere Linſe (Fig. 56). Mitunter, aber in ſeltneren Fällen iſt die, auf der einen Seite ebenfalls ſphäriſch begrenzte Glasmaſſe auf der entgegengeſetzten Seite zwar gleichfalls ſphäriſch geſtaltet, doch nach außen hin hohl; in dieſem Falle nennt man das Glas eine conver-concave Linſe (Fig. 57). Endlich gibt es noch eine, häufiger als die beiden vorhergehenden angewandte Geſtalt, welche nach außen hin von zwei ſphäriſchen Oberflächen begränzt iſt, die ſich gegenſeitig ihre Converität zukehren; dieſe nennt man

Fig. 56. — Plan-convere Linſe.

Fig. 57. — Conver-concave Linſe.

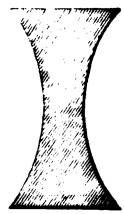


Fig. 58. — Bi-concave Linſe.

biconcave Linſen (Fig. 58). Ohne daß es erforderlich wäre in weitere Erklärungen hierüber einzugehen, ſieht man leicht ein, daß eine ſolche biconcave Linſe, entgegengeſetzt der biconveren Linſe, mit der wir uns oben beſchäftigt haben, aus Prismen mit wachſenden Winkeln zuſammengeſetzt iſt, deren Grundflächen ſämmtlich nach den Rändern gewandt ſind; ſo kommt es, daß wenn parallelen Strahlen auf die erſte Fläche einer derartigen Linſe auffallen, ſie an der Austrittsfläche divergirend hervortreten, und alſo keinen Brennpunkt erzeugen (Fig. 59).

Haben wir bisher für eine biconvere Linſe, die einzige, mit der wir uns hier zu beſchäftigen haben, den Brennpunkt F (Fig. 60, S. 84) betrachtet, der zu Strahlen gehört, die unter einander und mit der Axe der Linſe PJCE parallel ſind, ſo wird es nun wichtig zu unterſuchen, was in dem Falle eintritt, wo das Bündel paralleler Strahlen mit PJCE einen kleinen

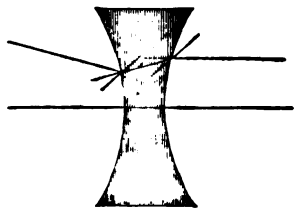


Fig. 59. — Durchgang eines der Axe parallelen Lichtſtrahls durch eine biconcave Linſe.

Winkel P'CP einschließt. Ein dem oben angeführten Versuche mit schwarzem, durchlöcherten Papiere ganz analoges Experiment lehrt, daß diese neuen Strahlen sich gleichfalls in einem einzigen Brennpunkte R vereinigen, der jedoch nicht auf der Linie PJCE, sondern wenn die Linse wie gewöhnlich von geringer Dicke ist, auf einer gewissen geraden Linie P'CR liegt, welche wir Nebenare nennen wollen. Die beiden Punkte R und F bestimmen eine Linie RF, die nahezu auf der Hauptare PJCE senkrecht steht; fielen aber diese neuen Strahlen, statt sämmtlich mit P'C parallel zu sein, mit einer gewissen Divergenz auf die Linse, so würde der Brennpunkt R, wie in dem oben betrachteten Falle, in größere Entfernung fortrücken.

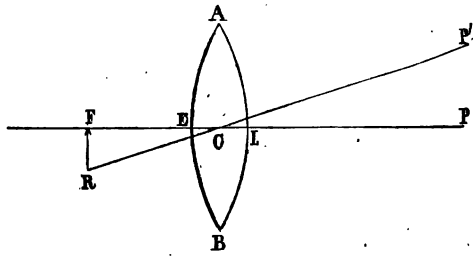


Fig. 60. — Entstehen der Brennpunkte auf den Nebenaren.

Alles was bisher von den Lichtstrahlen gesagt wurde, welche auf die beiden Kreisbogen auffallen, die man durch einen Schnitt der Linse mit einer dem Papier, auf dem man die Figur zeichnet, parallelen Ebene erzeugt, gilt wörtlich auch von den durchaus ähnlichen Schnitten, welche entstehen würden, wenn man die Linse durch beliebige, sämmtlich durch die Are derselben gehende Ebenen schneiden wollte.

Die Ebene, welche durch den Punkt F geht, und durch die Brennpunkte, welche untereinander zwar parallelen, aber gegen die Are PJCE verschieden geneigten Strahlenbündeln entsprechen, nennt man die Brennpunktsebene.

Dem Punkte C, durch welchen die Gerade JCR geht, und der auf der Are der Linse befindlich ist, kommt die Eigenschaft zu, daß jeder durch denselben hindurchgehende, gebrochene Lichtstrahl Strahlen entspricht, die untereinander parallel einfallen und ausfahren (Fig. 61, S. 85). Dieser Punkt heißt der optische Mittelpunkt der Linse; er wird überall in dem, was uns ferner auseinanderzusetzen bleibt, von größter Wichtigkeit sein.

Nehmen wir jetzt an, eine Linse AB stehe einem Objecte NZO gegenüber, welches entweder an sich selbst oder durch Reflexion leuchtet (Fig. 62); denken wir uns ferner dies Object weit genug von der Linse entfernt, um die von den verschiedenen Punkten ausgesandten oder wenigstens anscheinend ausgesandten Strahlen, welche die Linse in ihrer ganzen Ausdehnung auffängt, als parallel ansehen zu können. Alsdann werden alle von dem in der verlängerten Linsenare belegenen Punkte Z ausgehenden Strahlen sich im Punkte F vereinigen oder kreuzen. Die vom Punkte N ausgesandten Strahlen werden sich in einem Brennpunkte vereinigen, der auf der Linie NCN′ belegen ist, die durch den optischen Mittelpunkt C geht; ebenso werden die von O ausgesandten Strahlen sich in einem Punkte O′ auf der Linie OCO′ sammeln. Ganz dasselbe könnte man von allen zwischen N und Z, sowie zwischen Z und O gelegenen Punkten des leuchtenden Körpers behaupten.

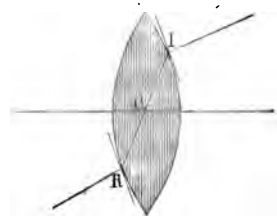


Fig. 61. — Optischer Mittelpunkt einer Linse.

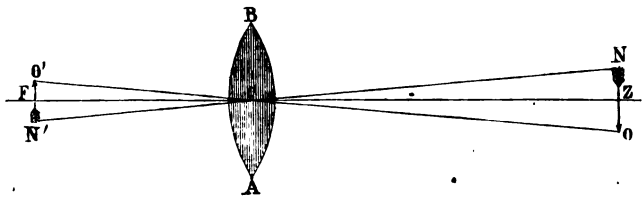


Fig. 62. — Entstehen des Bildes durch eine Linse.

Denn was ist im Grunde das Object NO unserm Auge gegenüber? Nichts als eine Ansammlung leuchtender Punkte, von denen Strahlen nach allen Richtungen ausgehn, Strahlen, welche aber alle möglichen Farben und Stärkegrade besitzen. Alle diese Verschiedenheiten der Farbe und der Helligkeit wird man in den verschiedenen Punkten der aufeinander folgenden Brennpunkte N′FO′ wiederfinden. Sind die von N ausgehenden Strahlen rothe, so werden diejenigen Strahlen, welche, nachdem sie sich im Brennpunkte N′ durchkreuzt haben, sich darüber hinaus in den Raum verbreiten, ebenfalls rothe sein.

Sind ferner die von Z ausgeſandten Strahlen weiß, ſo müſſen diejenigen Strahlen, welche nach der Durchkreuzung in F ihren Weg über dieſen Brennpunkt hinaus in gerader Linie verfolgen, gleichfalls weiß ſein. Was endlich die in O′ ſich durchkreuzenden Strahlen betrifft, ſo ſind auch dieſe nach Farbe und Stärke ebenſo beſchaffen, wie die von O ausgeſandten.

Man hat alſo guten Grund gehabt, die Aufeinanderfolge von Brennpunkten N′FO′ das Bild des körperlichen Objects NZO zu nennen; nur darf man nicht überſehen, daß das Bild ein umgekehrtes iſt. Liegt nämlich der Punkt N links vom Mittelpunkte Z des materiellen Gegenſtandes, ſo wird der ihm entſprechende Punkt N′ ſich rechts vom Brennpunkte F befinden; der Punkt O, der in Wirklichkeit rechts vom Punkte Z liegt, befindet ſich im Bilde links vom Punkte F, der in dieſem Bilde den Mittelpunkt bezeichnet. Bis auf dieſen Unterſchied, und wenn man überdies von der Größe abſieht, tritt das Bild N′FO′, in Allem was das Sehen betrifft, vollſtändig an Stelle des Objectes NZO.

Ich habe einſchränkend bemerkt, daß das Bild in allen Erſcheinungen, wo es ſich ausſchließlich um Lichtſtrahlen handelt, an die Stelle des Objects treten kann; denn für das Gefühl z. B. wird zwiſchen Bild und Object allerdings ein weſentlicher Unterſchied beſtehen.

Siebentes Kapitel.

Ueber die verſchiedenen Theorieen der Fernröhre.

Den Mathematikern, welche die nachfolgenden Abſchnitte leſen, werden die Erläuterungen, die ich über die Conſtruction der Fernröhre zu geben im Begriff bin, ſehr populär und, ich möchte ſagen, bloß praktiſch erſcheinen. Ich weiß freilich, daß ich auf einem andern Wege größere Schärfe in den Reſultaten hätte erreichen können, aber ich behaupte kühn, daß die analytiſchen Formeln keineswegs der elementaren Kenntniſſe überheben, auf welche ich mich nothwendig beſchränken

mußte. Zur Rechtfertigung dieſer Meinung will ich hier eine Anekdote mittheilen, welche ich Lalande erzählen hörte.

Bei der Aſtronomenverſammlung zu Gotha fand ſich auch der deutſche Mathematiker Klügel ein, der mehrere geſchätzte Werke über Optik geſchrieben hat. Dieſer Mathematiker hatte ſich dergeſtalt in die complicirten Formeln, zu denen er gelangt war, verſenkt, und hatte, indem er die Formeln zu größerer Eleganz hin und her wandte, ſo vollſtändig die Grundprincipien vergeſſen, auf denen die mächtigen Inſtrumente beruhen, welche in ſo hohem Grade dem Fortſchritte der Wiſſenſchaft gedient haben, daß er eines Tages, in der Abſicht ein entferntes Object zu betrachten, zum großen Gelächter der ganzen Verſammlung, dasjenige Glas, welches man Ocular nennt, auf den Gegenſtand richtete, und das Auge an das Objectiv brachte[3]).

Wer die unvollkommene Auseinanderſetzung lieſt, die ich hier über die Fernröhre gebe, der wird wenigſtens nicht in Verſuchung kommen, durch „das dicke Ende" zu ſehen.

Achtes Kapitel.

Das aſtronomiſche Fernrohr.

Vorſtehende Erläuterungen über die Linſen ſind ſeit Erfindung des Daguerrotyps und der andern photographiſchen Verfahren ganz allgemein bekannt geworden; durch ſie werden wir in den Stand geſetzt, über die Wirkungsweiſe der Gläſer, aus denen ein Fernrohr beſteht, Rechenſchaft zu geben.

Wer nur einmal eines jener kleinen Linſengläſer, die man einfache Mikroſkope (Loupen) nennt, in Händen gehabt hat, dem iſt bekannt, daß man vermittelſt eines ſolchen Glaſes die ſcheinbaren Dimenſionen naheliegender Gegenſtände beträchtlich vergrößern kann. Derartige Glaslinſen, häufig von der Größe eines Stecknadelknopfes, wenden die Naturforſcher an, um bis ins feinſte Detail die Organiſation der einzelnen Theile bei Inſekten, Blumen, Blättern u. ſ. w. zu ſtudiren.

Dieſer Linſe könnte man ſich auch bedienen, um ein Object NOZ (Fig. 63) zu unterſuchen, das in ſehr großer Nähe iſt, häufig in der Entfernung nur eines Bruchtheils eines Millimeters; das Bild erſcheint alsdann in N'O'Z'.

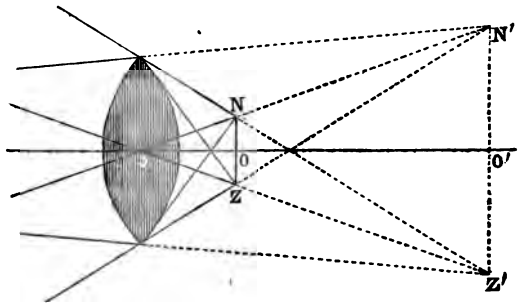


Fig. 63. — Entſtehen des Bildes in einer Loupe.

Nichts hindert uns aber, an die Stelle eines direct beobachteten Objectes das Bild treten zu laſſen, welches von dieſem Objecte NOZ durch eine erſte Linſe C in Z'O'N' entſteht (Fig. 64). Mit einer zweiten Linſe kann man ſich nun dem durch die erſte Linſe von einem unzugänglichen Gegenſtande erzeugten Bilde ſoweit nähern, als man will, und man erblickt dann ein zweites Bild in Z''O''N''.

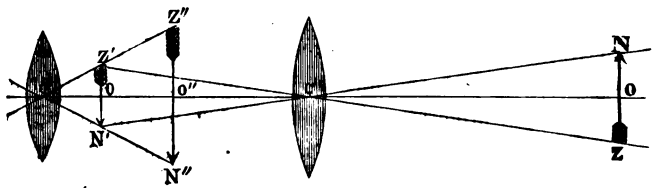


Fig. 64. — Princip des aſtronomiſchen Fernrohrs.

In dieſen wenigen Zeilen haben wir eine Beſchreibung des aſtronomiſchen Fernrohrs gegeben. Man ſieht, daß es aus zwei Linſen beſteht, deren eine dem zu beobachtenden Gegenſtande zugekehrt iſt, und aus dieſem Grunde das Objectivglas heißt, während die andere die Loupe des Naturforſchers iſt, mit welcher man die von dem Objectivglaſe erzeugten Bilder der entfernten Gegenſtände betrachtet; dieſe zweite, nahe beim Auge befindliche Linſe nennt man deswegen das Ocular.

Je größere Oeffnung das Objectiv hat, um so zahlreicher werden die Strahlen sein, die von jedem Punkte des betrachteten Gegenstandes ausgehend, sich in den verschiedenen Punkten des Bildes durchkreuzen, und um so heller wird folglich das Bild erscheinen. Für ein bestimmtes Object ist übrigens, wie später nachgewiesen werden soll, die Größe des Bildes im Brennpunkte der Länge der Brennweite des Objectivs proportional. Sobald dies feststeht, leuchtet ein wie vortheilhaft für die Wirkung eines Fernrohrs große Oeffnung und Länge desselben sein müssen.

So wie der Naturforscher den materiellen Gegenstand, den er untersuchen will, nur dann deutlich erkennt, wenn er die kleine Linse, deren er sich bedient, in die geeignete Entfernung vom Gegenstande bringt, so sieht auch der Astronom das Bild nur dann deutlich, wenn er die Ocularlinse in die geeignete Entfernung vom Bilde bringt: diese Entfernung bestimmt man leicht durch Versuche, indem man das kleine Rohr, in welches die Ocularlinse gefaßt ist (Fig. 65); hin und herschiebt; dies nennt man das Ocular einstellen.

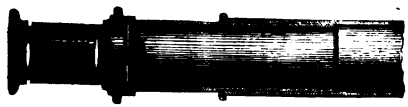


Fig. 65. — Durchschnitt des astronomischen Fernrohrs.

Neuntes Kapitel.

Abweichung wegen der Kugelgestalt.

Das Ocularglas, mit welchem man das von der Objectivlinse erzeugte Focalbild der Gegenstände betrachtet, dient einzig dazu, die Dimensionen dieses Bildes zu vergrößern. Ist also das Bild von der Objectivlinse undeutlich, so wird das vergrößerte Bild ebenfalls undeutlich sein. Vereinigen sich die von verschiedenen Punkten des Objects kommenden Strahlen, die das Objectiv auffängt, nicht genau in Punkten von verschwindender Ausdehnnng, so wird das Focalbild undeutlich, und die durch das System der beiden Gläser, aus denen das

Fernrohr besteht, betrachteten Gegenstände müssen nothwendig auch undeutlich sein.

Wirkliche Versuche haben uns schon gelehrt, daß Strahlen, die von einem Punkte ausgehen, sich nach ihrem Durchgang durch eine sphärische, biconvere Glaslinse, in einem Brennpunkte ohne merkliche Ausdehnung vereinigen. Bei genauer Untersuchung aber findet man durch die Theorie sowohl als durch Versuche, daß diese Vereinigung nur nahezu stattfindet. Diejenigen Strahlen, welche nahe an den äußern Rändern durch die Linse gingen, werden zu stark gebrochen im Vergleich mit denjenigen, welche durch die mittleren Theile fielen.

Mathematisch zu sprechen haben also die verschiedenen Zonen der sphärischen Linse nicht denselben Brennpunkt, woraus folgt, daß jeder Punkt des Objects im Bilde durch eine Oberfläche von gewisser Ausdehnung dargestellt wird, und daß das Bild dadurch ein wenig undeutlich ausfällt.

Diese Undeutlichkeit, welche also von der nicht vollständigen Uebereinstimmung der Strahlen herrührt, die nahe bei den Rändern und in der mittleren Gegend der Linse hindurchgehen, nennt man die Abweichung wegen der Kugelgestalt. Descartes war der erste, der nachwies, daß man, um diese Abweichung wegzuschaffen, der Linse statt sphärischer Flächen vielmehr paraboliſche oder hyperboliſche geben müsse[4]). Um solche Oberflächen hervorzubringen, hat man sehr sinnreiche Verfahren ersonnen, die aber alle unzureichend befunden wurden, als es darauf ankam, die geschliffene Oberfläche zuletzt vollkommen zu poliren.

Indessen haben geschickte Künstler glücklicherweise ein Mittel ausfindig gemacht, um auch beim Schleifen des Objectivglases in einer Kugelschale, den beiden Flächen eine solche Gestalt zu geben, daß die sogenannte Abweichung wegen der Kugelgestalt so gut wie vollständig verschwindet. Durch diese kurze Erklärung wird schon einleuchten, von welcher Bedeutung das Talent des Künstlers für die Vollendung eines guten Objectives ist.

Zehntes Kapitel.

Chromatiſche Abweichung.

Fällt ein Bündel paralleler Strahlen auf ein Prisma, ſo wiſſen wir ſchon, daß dieſes Bündel, ſtatt ſeinen Weg in gerader Linie auf der Verlängerung des einfallenden Strahles fortzuſetzen, nach der Grundfläche des Prismas hin abgelenkt wird. Aber von einem bei dieſer Brechung eintretenden Umſtande iſt bisher nicht die Rede geweſen, und darauf muß ich jetzt die Aufmerkſamkeit des Leſers lenken.

Das aus parallelen Strahlen beſtehende, einfallende Bündel zeigt ſich, ſtatt nach der Brechung das Prisma in gleichfalls parallelen Strahlen zu verlaſſen, ſtatt aus der zweiten Prismenfläche wiederum als ein dünnes Lichtbündel auszutreten, vielmehr als ein divergirendes Bündel, wie ein aufgeſchlagener Fächer. Zwar ſind alle Strahlen des ausfahrenden Bündels ohne Ausnahme gegen die Grundfläche des Prismas hin abgelenkt, aber dieſe Ablenkungen ſind nicht alle von gleicher Größe.

Die Strahlen, in welche ſich das ausfahrende Bündel trennt, zeigen ſich nicht alle von gleicher Farbe; der am meiſten abgelenkte iſt violet, der am wenigſten abgelenkte dagegen roth. Die zwiſchen die äußerſten Strahlen fallenden haben vom rothen angefangen, in der Reihenfolge ihrer Ablenkung folgende Farben: orange, gelb, grün, blau und indigo (Fig. 66).

Aus dieſem ſehr bekannten Verſuche ſehen wir, daß ein Bündel weißen Lichtes aus verſchieden gefärbten Strahlen zuſammengeſetzt iſt, denen die Eigenſchaft zukommt, ungleich brechbar zu ſein, d. h. durch ein Prisma ungleich abgelenkt zu werden. Dieſe Erſcheinung beruht auf der Dispersion des Lichts.

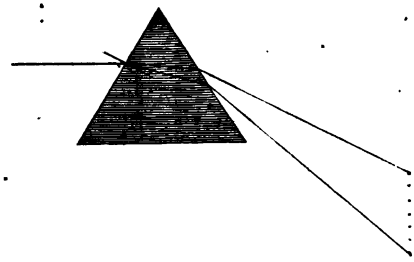


Fig. 66. — Zerſtreuung oder Dispersion des Lichts.

Oben haben wir bereits gesehen, daß eine Linse wie ein System von Prismen betrachtet werden kann, in welchen die kleinen Flächentheilchen, an denen die Strahlen ein- und austreten, Winkel miteinander bilden, die vom Mittelpunkte der Linse nach den Rändern hin zunehmen.

Was bereits über das Entstehen des Brennpunkts in der Voraussetzung gesagt wurde, daß alle Bestandtheile eines weißen Bündels paralleler Strahlen in ein gleichfalls weißes und ebenso feines Bündel, als das einfallende war, gebrochen wurden, gilt nun auch von jedem einzelnen der ungleich brechbaren Strahlen, aus denen, wie wir soeben gefunden haben, der weiße Strahl besteht. Deshalb entstehen ebenso viele verschiedene Brennpunkte, als Farben im ausfahrenden Strahle vorhanden sind. Von diesen Brennpunkten wird der erste, der, welcher der Linsenfläche zunächst liegt, von den violetten Strahlen gebildet, d. h. von denjenigen, welche beim Durchgange durch die Prismen am meisten abgelenkt werden; der am weitesten von der Linsenfläche entfernte Brennpunkt wird dagegen durch die Vereinigung der rothen Strahlen gebildet, d. h. von denjenigen, welche die geringste Brechung erleiden. Auf einer geraden Linie zwischen diesen beiden, dem rothen und dem violetten Brennpunkte, liegen in gesonderten Punkten der Linsenaxe der Reihe nach die Brennpunkte der orange-, gelb-, grün-, blau-, und indigo-gefärbten Strahlen.

Auf diese Weise entstehen von dem Objecte NZ (Fig. 67), welches die Strahlen aussendet, die wir vorhin als weiße annahmen, statt eines einzigen, gleichfalls weißen Bildes, sieben gesonderte Bilder in verschiedenen Abständen, nämlich $N'Z'$ (roth) N^2Z^2 (orange), ... N^7Z^7 (violet).

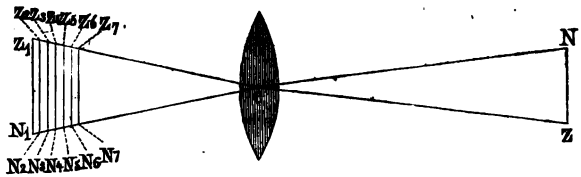


Fig. 67. — Verschieden gefärbte Bilder im Brennpunkte.

Nun iſt aber Jedem bekannt, daß man mittelſt der Ocularlinſe einen Gegenſtand nur dann deutlich ſieht, wenn ſich dieſe Linſe in einem beſtimmten Abſtande vom Gegenſtande befindet, und daß ſobald dieſe Entfernung zunimmt oder abnimmt, der Gegenſtand ſogleich undeutlich wird. Weil man eine ſolche Linſe nicht in gleichen Abſtand von den violetten, grünen und rothen Bildern bringen kann (inſofern dieſe ungleich von der Objectivlinſe abſtehen), kann dieſelbe nur ein einziges von den Bildern deutlich zeigen; und ſogar wird dieſe Deutlichkeit geſtört werden durch die Vermiſchung des deutlichen Bildes mit den undeutlichen, welche von den übrigen Strahlen erzeugt werden.

Die Abweichung, welche aus dem Auftreten deutlicher, verſchieden gefärbter, in verſchiedenen Entfernungen vom Objectivglaſe liegender Bilder entſteht, heißt ſeit Newton die Abweichung wegen der verſchiedenen Brechbarkeit oder die chromatiſche Abweichung.

Dieſelbe iſt bei den Beobachtungen, die mit einem Objectivglaſe und einer Ocularlinſe angeſtellt werden, (für gewöhnliche Linſen) viel nachtheiliger, als die oben beſprochene Abweichung wegen der Kugelgeſtalt.

Elftes Kapitel.

Aſtronomiſche Fernröhre.

Eine Objectivlinſe erzeugt ein Bild entfernter Gegenſtände nur inſofern ihre Elementarbeſtandtheile die prismatiſche Geſtalt haben, weil dieſe letztere ein Bündel paralleler Strahlen in einen und denſelben Punkt der Are vereinigt; mit der prismatiſchen Geſtalt fallen zugleich die Bilder im Brennpunkte hinweg. Da nun aber die Strahlen, aus denen weißes Licht beſteht, ungleich gebrochen werden, ſo vereinigen ſie ſich, wie wir bereits gefunden haben, in verſchiedenen Brennpunkten, und die erzeugten Bilder werden undeutlich. Dieſem Uebelſtande konnte, wie es ſchien, nicht abgeholfen werden. Um ſich hiervon zu überzeugen, kam Newton auf die Idee, zwei Prismen aus verſchiedenen Glasarten in der Weiſe zuſammenzufügen, daß der Brechungswinkel des zweiten Primas ſich an die Grundfläche des

erſten, und der Winkel des erſten an die Grundfläche des zweiten ſo anlehnte, wie die nebenſtehende Figur 68 zeigt; er unterſuchte nun, ob man nicht mit Hülfe von zwei Prismen, deren Winkel beträchtlich von einander verſchieden ſein konnten, zuletzt eine Brechung ohne Zerlegung in Farben hervorbringen könnte. Seine Verſuche waren aber nicht mannigfaltig genug, und aus einer kleinen Anzahl derſelben zog er den Schluß, daß die Strahlen nur dann farblos aus der letzten Fläche der beiden Prismen hervorträten, wenn ſie beim Durchgange durch beide keine Brechung erlitten hätten [5]). Verhielt es ſich wirklich in dieſer Weiſe, ſo ſtand ſeitdem feſt, daß es unmöglich ſei eine Linſe aus zweierlei Glasarten in der Art zuſammenzuſetzen, daß die Einfalls- und Austrittsflächen die Eigenſchaft beſäßen, die Lichtſtrahlen zu brechen, ohne zugleich die verſchieden gefärbten von einander zu trennen. Aber zum Glück war Newton's Verſuch nicht genau geweſen.

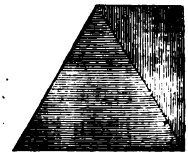


Fig. 68. — Achromatiſches Prisma.

Man hat ſpäter gefunden, daß wenn von zwei Prismen mit paſſenden Brechungswinkeln das eine aus gewöhnlichem Crownglaſe beſteht und das andere aus Kryſtallglas, bei deſſen Bereitung eine merkliche Menge Blei verwandt wird (Flintglas), man es dahin bringen kann, daß die hindurchgehenden Strahlen nach derjenigen Seite hin abgelenkt werden, nach welcher ſie das Crownglas allein gebeugt haben würde, und dennoch ihre weiße Farbe behalten.

Seit dieſer Beobachtung, welche in das Jahr 1758 fällt, und die wir auf Dollond zurückführen können, hat man die Möglichkeit eingeſehen, aus zweierlei Glasſorten Linſen zu conſtruiren, durch welche weißes Licht beim Hindurchgehen zu einem einzigen Brennpunkte vereinigt wird [6]).

Derartige Linſengläſer hat man achromatiſche (farbloſe) genannt; gewöhnlich beſtehen ſie aus einer biconveren Crownglaslinſe und einer planconcaven Flintglaslinſe (Fig. 69, S. 95), beide mit gemeinſchaftlicher Are. Stellt man ſich in Gedanken den Weg vor, welchen Lichtſtrahlen verfolgen, die etwa links von der Hauptare liegen, ſo ſieht man, daß dieſelben, nachdem ſie durch die Crownglasprismen hindurch-

gegangen sind, deren Grundflächen der Hauptaxe zugewandt sind, auf die Flintglasprismen fallen, deren Grundflächen nach der entgegengesetzten Seite liegen. Diese Verbindung beider Prismen hebt die Zerstreuung der farbigen Strahlen auf, und läßt das Uebergewicht, was die Brechung betrifft, den Crownglasprismen; daher kommt es endlich, daß ein weißer Strahl, der durch beide Linsen hindurchgeht, ohne Färbung abgelenkt wird, und das Centralbündel in einem einzigen Brennpunkte trifft.

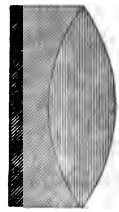


Fig. 69. — Achromatische Linse.

Dies ist die gebräuchliche Zusammensetzung der achromatischen Linsen. Wenn schon die Herstellung von Linsen einer einzigen Glasart schwierig ist, so tritt hier die neue Schwierigkeit hinzu, die Krümmungen beider aneinander liegenden Linsen in der Weise zu bestimmen und mit einander zu verbinden, daß die kleinen Lichtbündel, nach ihrem Durchgange durch das ganze System vollkommen farblos hervorgehen.

Bei astronomischen Beobachtungen bedient man sich heutzutage ausschließlich der achromatischen Objective.

Man begreift ohne Weiteres, daß die Schwierigkeit der Bearbeitung und des Herstellens ausgezeichnet reiner und streifenfreier Glasmassen die achromatischen Objective beträchtlich theurer machen müsse, als die gewöhnlichen Objectivgläser waren, deren man sich vor dem Jahre 1758 bediente.

Zwölftes Kapitel.

Ueber das Sehen.

Bisher haben wir die Vergrößerung durch eine kleine Linse nur als eine allgemein bekannte Thatsache angesehen, von der sich jeder leicht überzeugen kann.

Es bleibt jetzt noch zu erklären, aus welchem Grunde das einfache Mikroskop des Naturforschers, auf welche Weise die Ocularlinse die körperlichen Gegenstände selbst oder die Bilder derselben, die im Brennpunkte einer ersten Linse entstehen, vergrößert; um diese Erklärung

zu geben, ist erforderlich, daß wir zuerst über die Art und Weise des Sehens überhaupt Rechenschaft geben.

Zu diesem Zwecke müssen wir zu früheren Betrachtungen zurückgehen. Wir sprachen bisher nur von Brennpunkten, insofern sie aus den Ablenkungen hervorgehen, welche eine einzige Linse parallelen oder nichtparallelen Lichtbündeln ertheilt; Rechnung und Versuch belehren uns aber, daß diese Lichtbündel gleichfalls Brennpunkte bilden, wenn sie durch mehrere übereinander liegende Linsen hindurchgehen. Nun kann man das menschliche Auge als aus drei hintereinander liegenden, sich berührenden Linsen zusammengesetzt betrachten (Fig. 70). Die erste von diesen Linsen ist die äußere, von der Hornhaut (cornea) begrenzte; sie besteht aus einer Flüssigkeit, welche dem reinen Wasser nicht unähnlich ist, und die wässerige Flüssigkeit (humor aqueus) genannt wird. Hierauf kommt die Krystalllinse, die aus einem festen Mittel besteht. Die dritte und letzte, mit der Krystalllinse in Berührung stehende Linse ist das, was die Anatomen die Glasflüssigkeit (humor vitreus) genannt haben.

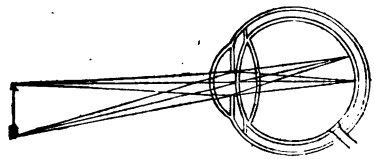


Fig. 70. — Einrichtung des Auges.

Durch diese drei nebeneinander liegenden Linsen werden die Lichtstrahlen, welche durch die kreisförmige Oeffnung, die Pupille heißt, in das Auge gedrungen sind, gebrochen und vereinigen sich darauf in den verschiedenen Punkten des Bildes, das durch dies Linsensystem erzeugt werden muß.

Bei Besprechung des durch die Objectivlinse eines Fernrohrs entstandenen Bildes haben wir gesehen, daß dies Bild im leeren Raume oder, wenn man will, in der Atmosphäre erzeugt wird; diejenigen Bilder hingegen, welche durch die drei Linsen des Auges entstehen, fallen auf eine Membran, welche den Hintergrund dieses Sinneswerkzeugs bekleidet, und die man Netzhaut oder Retina nennt. Fällt die Netzhaut mit der Brennpunktsebene der drei Linsen zusammen, so sind die Bilder auf der innern Fläche derselben deutlich; es wird dann jeder äußere Punkt durch einen Punkt dargestellt, und die

Retina, welche in Wirklichkeit nichts anders iſt, als eine Ausbreitung des Sehnerven, theilt dem Senſorium klar und deutlich die Empfindung der äußern Gegenſtände mit.

Aber nehmen wir einmal an, die Retina falle nicht mit den Brennpunkten der verſchiedenen Strahlen zuſammen.

Man muß alsdann zwei Fälle unterſcheiden. Geſetzt die Strahlen vereinigen ſich bevor ſie die Membran der Netzhaut erreichen, ſo werden die Strahlen, nachdem ſie über die Focalebene hinausgegangen, divergiren, weil ſie ſich genau auf den Punkten dieſer ideellen Fläche gekreuzt haben. Jeder Punkt eines äußern Gegenſtandes würde, wenn die Netzhaut in der gehörigen Entfernung gelegen hätte, durch einen Punkt ohne Ausdehnung dargeſtellt worden ſein; jetzt aber, bei fehlerhafter Lage der Netzhaut, wird er durch eine Fläche von einer gewiſſen Ausdehnung dargeſtellt werden.

Die Bilder von benachbarten Punkten werden folglich übereinander greifen, und die Undeutlichkeit des Geſammtbildes muß ſich nothwendig durch eine entſprechende Undeutlichkeit in der Wahrnehmung bemerklich machen.

Ganz ähnliche Betrachtungen gelten für den Fall, wo die Netzhaut der Kryſtalllinſe näher liegt als ſie ſollte; dann werden die Brennpunkte ſich nämlich jenſeit der Retina bilden wollen, die Strahlen haben ſich, wenn ſie die Membran erreichen, noch nicht vereinigt, und dieſe letztere ſchneidet den Kegel, der durch die von allen Punkten des Gegenſtandes kommenden Strahlen gebildet wird, vor ſeinem Scheitel. Somit wird jeder dieſer Punkte durch eine Fläche von gewiſſer Ausdehnung abgebildet; das Geſammtbild wird wiederum undeutlich und das Sehen unklar, wenn auch aus einem andern Grunde, als im erſten Falle.

Wie läßt ſich dieſem doppelten Uebelſtande abhelfen?

Im erſten Falle waren die Strahlen rückſichtlich der fehlerhaften Lage der Netzhaut beim Durchgange durch die drei Linſen, aus denen das Auge beſteht, zu ſtark gebrochen; man würde alſo durch gehörige Verringerung dieſer Brechung Alles auf den Normalſtand zurückführen. Nun liegt aber der Brennpunkt eines Bündels divergirender Strahlen, die durch eine oder mehrere Linſen gehen, ſtets in größerer Entfernung

als der Brennpunkt paralleler Strahlen; und wenn man ſonach den Strahlen, die urſprünglich untereinander parallel in die Pupille eintreten, einen gewiſſen Grad von Divergenz gibt, ſo laſſen ſich die vor die Netzhaut fallenden Brennpunkte genau auf die Oberfläche derſelben verlegen.

Wollen ſich im andern Falle die Brennpunkte jenſeit der Netzhaut bilden, ſo haben die Linſen die hindurchgehenden Strahlen nicht hinreichend abgelenkt, und man hilft dieſem Unvermögen ab, indem man die Strahlen vor ihrem Eintritte in das Auge convergirend macht.

Im erſten Falle erreicht man dieſe Abſicht, indem man vor dem Auge eine paſſend gewählte biconcave Linſe anbringt, und im zweiten Falle mit Hülfe einer biconveren Linſe.

Nach der Natur ſeiner Augen muß ein Jeder dieſe Hülfslinſen auswählen, denen man den Namen Brillengläſer gegeben hat.

Augen, welche die Strahlen zu ſtark brechen, d. h. in welchen die Linſenflächen eine zu beträchtliche Krümmung haben, und bei denen zum deutlichen Sehen biconcave Brillen erforderlich ſind, heißen kurzſichtige.

Augen hingegen, in welchen die Linſenflächen zu wenig gekrümmt ſind, und welche die Strahlen nicht ſtark genug brechen, um die Brennpunkte auf die Netzhautoberfläche zu verlegen; ſolche Augen alſo, für welche noch eine künſtliche Brechung durch ein vor dem Auge befindliches biconveres Glas nachhelfen muß, nennt man weitſichtige.

Dreizehntes Kapitel.

Vergrößerung durch Ocularlinſen.

Nur innerhalb gewiſſer Grenzen vermag unſer Auge deutlich zu ſehen. Iſt der Geſichtswinkel, unter welchem der Gegenſtand erſcheint, nur eine Minute groß, ſo wird ſein Bild auf der Netzhaut ſo klein, daß es, wenigſtens bei den meiſten Menſchen, keine Wirkung hervorbringt. Ein weißer Kreis alſo, oder ein weißes Quadrat auf ſchwarzem Grunde bleiben vollſtändig unſichtbar, ſobald der Durchmeſſer des

Kreises oder die Seite des Quadrats nur unter einem Winkel von einer Minute oder weniger erscheinen; aber beide geometrische Figuren würden sogleich sichtbar, wenn sie in eine solche Entfernung vom Auge gebracht würden, daß sie unter einem Winkel von zwei Minuten erschienen. Nichts scheint im ersten Augenblicke leichter, als dies zu erlangen; denn wenn ein Object in der Entfernung, in welcher es sich vom Auge befindet, nur eine Bogenminute groß erscheint, so wird der Gesichtswinkel sich verdoppeln, sobald man die ursprüngliche Entfernung auf die Hälfte verringert; er wird verdreifacht, wenn der Abstand nur ein Drittel, verzehnfacht, wenn er nur ein Zehntel beträgt u. s. f. Man besitzt also ein äußerst einfaches Mittel, die Gegenstände zu vergrößern: man betrachte sie in großer Nähe.

Die Strahlen jedoch, welche von einem dem Auge sehr nahegelegenen Punkte in dasselbe gelangen, sind übermäßig divergirend, und die drei Linsen, aus welchen das Auge besteht, sind keineswegs im Stande, sie zu gegenseitiger Durchkreuzung auf der Netzhaut zu bringen. Es wird im Gegentheil ein Punkt des Objects auf dieser Membran durch eine Fläche dargestellt werden, die Bilder benachbarter Punkte werden übereinandergreifen und das Gesammtbild wird undeutlich sein. Als zulässige Lösung der vorliegenden Aufgabe kann also nur diejenige gelten, welche, indem sie die Bilder auf der Retina vergrößert, ihnen alle wünschenswerthe Klarheit beläßt.

Gesetzt nun das Auge sei so beschaffen, daß es durch parallel einfallende Strahlen deutlich sieht. Strahlen, die von allen Punkten eines kleinen Objects in der Entfernung eines halben Meters ausgehen, kann man, soweit sie durch die kreisförmige Oeffnung der Pupille gehen, als die Bedingung des Parallelismus hinlänglich erfüllend ansehen.

Es sei nun AB (Fig. 71, S. 100) ein Gegenstand in der Entfernung eines halben Meters vom Auge. Zur Vereinfachung der Erklärung wollen wir von den Bestandtheilen des Auges nur die Krystalllinse L betrachten; R stelle die Netzhaut vor.

Der vom Auge um einen halben Meter entfernte Gegenstand wird auf der Netzhaut durch das Bild A′B′ dargestellt, welches dadurch gefunden wird, daß man von den äußersten Enden des Objects Linien zieht, die sich im optischen Mittelpunkte der Krystalllinse durchkreuzen.

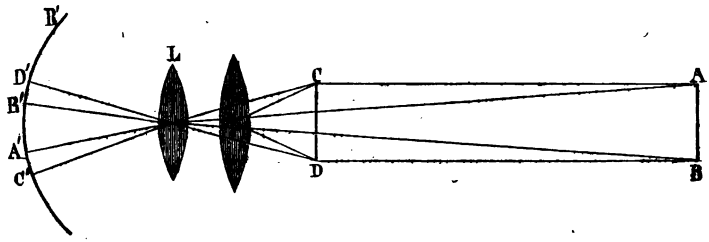


Fig. 71. — Vorrichtung, um sehr kleine Gegenstände deutlich zu sehen.

Verschiebt man nun das Object AB, sich selbst parallel, bis in die Lage CD, wo es dem Auge beträchtlich näher gerückt ist, so wird das Bild C'D' auf der Retina zwar ausgedehnter sein als das Bild A'B', welches der Lage AB entsprach, aber die in dieser zweiten Lage divergirenden Strahlen, welche von den verschiedenen Punkten C und D ausgehen, werden sich nicht mehr genau in bloßen Punkten vereinigen, und dem Bilde C'D', welches merklich größer ist, als das Bild A'B', wird es an Deutlichkeit fehlen. Könnte man nicht diesem Bilde C'D' seine Größe erhalten, und es dennoch deutlich machen? Allerdings; die Ocularlinse, wie wir sie nannten, gestattet uns diese Bedingung zu erfüllen. Man braucht sich nur zu erinnern, daß die von jedem der Punkte eines Bildes oder eines in der Focalebene einer Linse belegenen Gegenstandes ausgesandten Strahlen, an der entgegengesetzten Seite untereinander parallel hervortreten, und zwar überdies der Linie parallel, welche den strahlenden Punkt und den optischen Mittelpunkt N der Linse verbindet. Bringen wir also zwischen das Object CD und das Auge eine Linse, in deren Brennpunkt sich das Object CD befindet, so werden die von C divergirend ausgesandten Strahlen an der zweiten Linsenfläche untereinander und mit der Linie CN parallel hervortreten; ebenso werden die von D divergirend ausgesandten Strahlen, nach ihrem Durchgange durch die Linse, parallel mit sich selbst und mit der Linie DN ins Auge treten. In Folge ihres Parallelismus werden sie sich hierauf in den Punkten C'D' treffen, um welche herum vorher die undeutlichen Bilder von den Punkten C und D entstanden, als der Parallelismus noch nicht hergestellt war, und sich keine Loupe zwischen Auge und Object CD befand.

Eine passend aufgestellte Linse bietet uns also das Mittel, Gegenstände in großer Nähe zu betrachten, indem sie die Undeutlichkeit, welche mit dieser Bedingung verknüpft zu sein schien, vollständig aufhebt.

Ueberdies ließe sich aus der Lehre von der Aehnlichkeit der Dreiecke leicht der Beweis führen, daß die Vergrößerung des Bildes auf der Netzhaut mit der Brennweite der angewandten Linse in umgekehrtem Verhältnisse steht; so daß eine Linse von einem Millimeter Brennweite die Untersuchung der Gegenstände in zehnmal größerer Nähe gestattet, als eine andere Linse, die zehn Millimeter Brennweite hat, und daß jene folglich zehnmal mehr als diese vergrößert [7]).

Verglichen mit einer Linse von zehn Millimeter Brennweite würde eine andere Linse, deren Brennweite nur ein halbes Millimeter betrüge, zwanzig Mal stärker vergrößern, u. s. w.

Wenn nun, wie wir angenommen haben, ein gutes Auge die Gegenstände in der Entfernung eines halben Meters oder von fünfhundert Millimetern deutlich sieht, so wird eine Linse von einem Millimeter Brennweite die Gegenstände im Verhältnisse von 1 zu 500 vergrößern, indem sie erlaubt, dieselben ein Millimeter vom Auge entfernt zu betrachten.

Es klingt fast unglaublich, wenn man hört, wie weit es menschliche Kunstfertigkeit in der Erzeugung von Linsen mit kurzer Brennweite gebracht hat. Dem Pater de la Torre, der Glaskügelchen vor dem Löthrohre schmolz und sie in Höhlungen legte, welche er in Trippelplatten angebracht hatte, gelang es, Linsen von einem Zehntelmillimeter Brennweite herzustellen [8]).

Bei einer gegebenen Gestalt der Linsen sind die Brennweiten um so kleiner, je größer die brechende Kraft des Stoffes ist, aus welchem sie gefertigt sind.

Vierzehntes Kapitel.

Von den Vergrößerungen der Fernröhre.

In Fig. 72 seien AB das Objectiv eines Fernrohrs, C der optische Mittelpunkt desselben und ML ein entfernter Gegenstand. Zieht man vom Punkte M eine gerade Linie MCM′ nach dem Mittelpunkte C, so werden sich die nahezu parallelen, von M ausgehenden Strahlen auf dieser Linie vereinigen; und ebenso wird sich auf der Linie LCL′ der Brennpunkt der von L ausfahrenden parallelen Strahlen befinden.

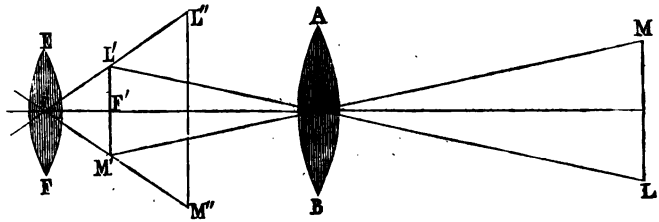


Fig. 72. — Erklärung der linearen Vergrößerung eines Fernrohrs.

M′L′ wird also das Focalbild von ML darstellen, und dieser Gegenstand, (den ich als weit entfernt annehme, weil die von M und L kommenden Strahlen, so weit sie auf das Objectiv fallen, untereinander parallel sind), würde dem bloßen Auge, vom optischen Mittelpunkte des Objectivs aus gesehen, unter dem Winkel MCL erscheinen, oder was dasselbe ist, unter dem Winkel M′CL′, weil Scheitelwinkel einander gleich sind. Wenn nun das Fernrohr den Gegenstand ML in M″L″ unter einem Winkel L″C:M″ zeigt, der doppelt so groß ist als MCL oder als M′CL′, so wird es zwei Mal vergrößern; ist der Winkel, unter dem das Focalbild von ML erscheint, drei Mal so groß als M′CL′, so vergrößert das Fernrohr drei Mal; und wenn endlich das Bild M′L′ unter einem hundert Mal größern Winkel als M′CL′ erschiene, so würde man sagen, das Fernrohr vergrößere hundert Mal u. s. f.

Nun sei EF die Ocularlinse, welche man in der Weise angebracht hat, daß L′M′ sich im Brennpunkte derselben befindet; es sei ferner C′

der optiſche Mittelpunkt dieſer Linſe. Alsdann wird L'M' einem hinter dem Ocularglaſe befindlichen Auge ſich ſo darſtellen, als befände es ſich in C', folglich unter dem Winkel L'C'M' erſcheinen. Das zwiſchen dem Winkel L'C'M' und dem Winkel L'CM' beſtehende Verhältniß wird den Betrag der Vergrößerung geben; nun haben wir aber ſchon von dem Lehrſatze Gebrauch gemacht, daß der Geſichtswinkel eines Gegenſtandes umgekehrt proportional iſt der Entfernung, die ihn von uns trennt, und es wird folglich der Winkel, unter welchem das Bild M'L' von C' aus erſcheint, ſich zu dem Winkel, unter welchem daſſelbe Bild von C aus erſcheint, verhalten wie ſich F'C (die Brennweite des Objectivs) zu F'C' (der Brennweite der Ocularlinſe) verhält.

Wenn F'C doppelt ſo groß iſt als F'C', ſo iſt die Vergrößerung eine zweimalige; iſt F'C drei Mal ſo groß als F'C', ſo vergrößert das Fernrohr drei Mal; iſt F'C hundert Mal ſo groß als F'C', hundert Mal u. ſ. w.

Man ermittelt alſo die Vergrößerung dadurch, daß man unterſucht, wie oft die Brennweite des Oculars in der Brennweite des Objectivs enthalten iſt, d. h. daß man letztere Zahl durch erſtere dividirt.

Faſſen wir jetzt den Durchgang der auf das Objectiv fallenden parallelen Strahlen näher ins Auge. Nach ihrer Brechung werden ſich die äußerſten von M ausgegangenen Strahlen im Punkte M' (Fig. 73) durchkreuzen, ihren Weg bis zum Ocular fortſetzen und parallel untereinander ausfahren.

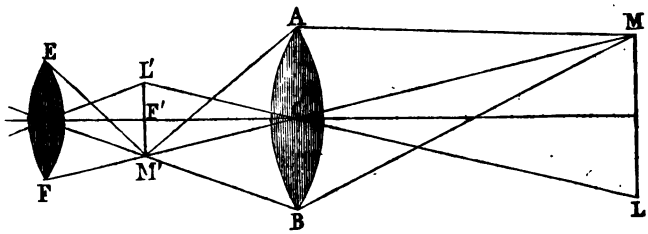


Fig. 73. — Flächenvergrößerung eines Fernrohrs.

Offenbar iſt die Entfernung der Strahlen nach ihrem Austritte gleich EF; indem man alſo die Dreiecke ABM' und EM'F untereinander

vergleicht, kann man das Verhältniß von AB zu EF ſtatt des Verhältniſſes von CF' zu C'F' ſetzen, mit andern Worten: man erhält die lineare Vergrößerung, wenn man den Durchmeſſer des Objectivs dividirt durch den Durchmeſſer des aus dem Ocular austretenden Büſchels; damit iſt, beiläufig bemerkt, ein ſehr einfaches Mittel gegeben, die Vergrößerung des Fernrohrs zu beſtimmen [9]). Wenn nun das Verhältniß von AB zu EF die Linearvergrößerung des Fernrohrs gibt, ſo muß das Verhältniß des Quadrats von AB zum Quadrat von EF die Flächenvergrößerung ergeben.

Dieſe letztere erhält man alſo, wenn man die Oberfläche des Objectivs dividirt durch die Fläche des Lichtbüſchels, in welchem parallele Strahlen ausfahren, welche von einem einzigen, entfernten Punkte kamen und die ganze Objectivfläche eingenommen hatten.

Wer einmal dieſen Beweis wohl verſtanden hat, der wird beim Beſuche einer Sternwarte nicht fragen, wieviel Mal ein vor ihm ſtehendes Fernrohr vergrößere, oder wird ſich wenigſtens nicht wundern, wenn man ihm erwidert: „Es vergrößert je nach dem Ocular, das man anſchraubt.“

Dagegen iſt es eine ſehr verſtändige Frage: „Welches iſt die ſtärkſte Vergrößerung, die dies Fernrohr verträgt?“ Denn es iſt klar, daß, inſofern das Objectiv eine beſtimmte Größe hat, das auf die Netzhaut fallende Bild nothwendiger Weiſe um ſo weniger hell erſcheinen wird, je größer der Raum iſt, den es auf derſelben einnimmt; daher kommt es, daß wenn man die Helligkeit berückſichtigt, den Vergrößerungen eines beſtimmten Fernrohrs eine Grenze geſetzt iſt.

In der Theorie beſteht eine ſolche Grenze jedoch nicht. Will man aus den Beſtimmungsſtücken der Gläſer eines Fernrohrs ſeine Vergrößerung herleiten, ſo muß man durch directe Meſſung für jede der beiden Linſen, aus denen das Fernrohr beſteht, die Entfernung vom optiſchen Mittelpunkte finden, in der die Bilder von entfernten Gegenſtänden, etwa von der Sonne, deutlich und ſcharf begrenzt erſcheinen; man hat alsdann nur die eine dieſer Entfernungen durch die andere zu dividiren. Hat das Ocular eine ſehr kleine Brennweite, vielleicht von einem oder von zwei Millimetern, oder noch kleiner, ſo würde ein Irrthum, den man in der Meſſung einer ſo kleinen Entfernung bege-

hen könnte, von beträchtlichem Einflusse auf die Bestimmung der Vergrößerung sein, und aus diesem Grunde treten in der Praxis an die Stelle der soeben angegebenen, theoretisch ganz genauen Methode, andere Verfahren, z. B. die Vergleichung des Objectivdurchmessers mit dem Durchmesser des aus dem Ocular ausfahrenden Bündels, oder auch diejenige Methode, welche wir im nächsten Kapitel vortragen wollen.

Funfzehntes Kapitel.

Methode die Vergrößerungen zu bestimmen.

Man hat Krystalle, in welchen das Licht eine Doppelbrechung erleidet. Sogar wenn ein Strahl senkrecht auf eine der Flächen eines solchen Krystalls fällt, entstehen daraus beim Durchgange zwei gleich helle Strahlen, von denen der eine denjenigen Weg genommen hat, den das Licht beim Durchgange durch ein gewöhnliches durchsichtiges Mittel unter den gegebenen Bedingungen würde eingeschlagen haben; man nennt diesen den gewöhnlich gebrochenen oder ordentlichen Strahl; der andere heißt der ungewöhnlich gebrochene oder außerordentliche Strahl. Je nach der Natur des Krystalles fällt der Winkel, den diese beiden Strahlen miteinander machen, verschieden aus. Bei einem gegebenen Krystalle kann man die Trennung der beiden Strahlen, oder den Winkel, den sie miteinander machen, dadurch vergrößern, daß man den Krystall nach gewissen Richtungen hin prismatisch schleift. Man achromatisirt hierauf das Krystallprisma vermittelst eines andern, entgegengesetzt liegenden Prismas, das aus einem einfach brechenden Stoffe besteht.

Sieht man nun durch beide Prismen, so erblickt man deutlich zwei farblose Bilder von allen Gegenständen, auf welche man den Apparat richtet.

Angenommen, der betrachtete Gegenstand sei ein Kreis, und die Linie AB (Fig. 74, S. 106) sein horizontaler Durchmesser; angenommen ferner, die außergewöhnliche Brechung geschehe in horizontaler Richtung, nach rechts hin, so wird rechts vom Kreise AB,

der, wie ich annehme, das gewöhnliche Bild vorstellt, ein ebenso großer Kreis A′B′ erscheinen. Der Durchmesser AB mag vom Standpunkte des Beobachters aus unter einem Winkel von zwanzig Minuten erscheinen, und zwanzig Minuten mögen auch das Maaß des Winkels sein, den beim Austritte aus dem Doppelprisma der gewöhnliche und der außergewöhnliche Strahl miteinander machen, dann wird der Kreis A′B′ den Kreis AB berühren, wie in der Figur geschieht. Mit Hülfe dieses Doppelprismas wird man jederzeit erkennen können, ob ein betrachtetes Object genau unter dem Winkel von zwanzig Minuten erscheint. Ist dagegen der Winkel, unter dem AB erscheint, kleiner als zwanzig Minuten, so wird das zweite Bild A′B′ vom Bilde AB getrennt erscheinen (Fig. 75); und wenn der Kreis AB unter einem größern Winkel als zwanzig Minuten erscheint, so wird das Bild A′B′ nicht vollständig von AB losgetrennt erscheinen, sondern beide Bilder werden übereinander greifen (Fig. 76). Die Bilder AB und A′B′ werden, um es noch einmal zu sagen, nur in dem einzigen Falle sich berühren, wo AB genau zwanzig Minuten groß erscheint.

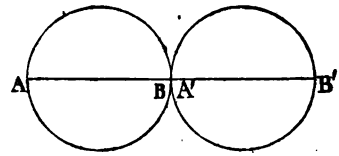


Fig. 74. — Berührung des gewöhnlichen und des außergewöhnlichen Bildes, welche beide durch einen doppeltbrechenden Krystall entstehen.

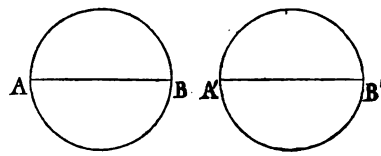


Fig. 75. — Trennung der beiden Bilder eines doppeltbrechenden Prismas.

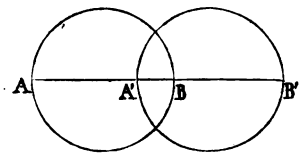


Fig. 76. — Uebereinandergreifen der beiden Bilder eines doppeltbrechenden Prismas.

Dies genügt schon um zu begreifen, auf welche Weise sich mittelst eines doppeltbrechenden Prismas die Vergrößerungen messen lassen.

Gesetzt man habe auf einer weit entfernten, schwarzen Tafel Kreise verzeichnet, die vom Standpunkte des Beobachters unter Winkeln von 1, 2, 3, 4, 5 Secunden u. s. w. erscheinen. Erscheint nun der Kreis von 1″ durch das Fernrohr unter einem Winkel von 10″, so vergrößert es offenbar zehn Mal; wird eine Secunde durch das Fernrohr in 100 Secunden verwandelt, so vergrößert dasselbe hundert Mal u. s. f.

Die zwanzig Minuten, um welche, der Voraussetzung zufolge, das Prisma die Bilder trennt, enthalten 20 Mal 60, d. h. 1200 Secunden; richtet man also das Fernrohr auf die soeben beschriebene Reihenfolge von Kreisen, und erscheint der von einer Secunde im Fernrohre 1200″ groß, so vergrößert dasselbe 1200 Mal. Wie erfährt man aber, daß der Kreis von einer Secunde im Fernrohre 1200 Mal größer erscheint? Diese Frage wird sogleich beantwortet, wenn man das Doppelprisma zwischen Ocular und Auge anbringt, und beobachtet, ob sich die vergrößerten Bilder des kleinen Kreises gegenseitig berühren. Ist dies nur der Fall mit den Bildern des Kreises von 2 Secunden, d. h. berühren sich nur diese, wenn man sie mittelst des zwischen Ocular und Auge angebrachten Prisma's betrachtet, so ist dies ein Beweis, daß das Fernrohr zwei Secunden zu 1200″ vergrößert, d. h. daß die Vergrößerung desselben $\frac{1200}{2}$ oder 600 beträgt.

Muß man sich dagegen der Marke von 3 Secunden bedienen, um das im Fernrohre vergrößerte Bild 1200″ groß zu erblicken, so wird die Vergrößerung $\frac{1200}{3}$ oder 400 betragen, und dasselbe gilt von noch geringeren, beliebigen Vergrößerungen.

Bei der Anwendung dieses Mittels zur Bestimmung der Vergrößerungen bedarf es, wie man sieht, durchaus keiner Kenntniß von der Theorie der Fernröhre, noch von der Bedeutung des Objectivs und des Oculars in diesen Instrumenten; das Verfahren ist nämlich nichts als eine unmittelbare Anwendung des richtig aufgefaßten Wortes Vergrößerung, und führt in aller beabsichtigten Schärfe zu dem gesuchten Resultate.

Wir nahmen an, daß die Trennung der beiden Bilder in horizontaler Richtung stattfand; man hätte nur das Prisma 90° nach der einen oder der andern Richtung um sich selbst zu drehen, um zu ver-

anlaſſen, daß das außergewöhnliche Bild über oder unter dem gewöhnlichen erſcheine. Uebrigens würden die Beobachtungen auch bei dieſer Stellung des Prisma's genau wie vorhin anzuſtellen ſein.

Was bei dieſem Verfahren, die Vergrößerungen zu beſtimmen, am meiſten die Genauigkeit erhöht, iſt die Leichtigkeit, mit der man ſich überzeugt, daß zwei prismatiſche Bilder einander berühren. Eignete ſich der Ort gegenwärtig zu dieſer Unterſuchung, ſo ließe ſich leicht zeigen, daß man, bei richtiger Anwendung dieſes Verfahrens, in der Beſtimmung des Zahlenwerths der geſuchten Vergrößerung nicht um den hunderten Theil des Betrags unſicher ſein kann.

Keppler, welcher der eigentliche Erfinder der aſtronomiſchen Fernröhre iſt, d. h. derjenigen Fernröhre, die aus zwei converen Linſen zuſammengeſetzt ſind (der einzigen aſtronomiſchen zugleich, die heutzutage in Anwendung kommen), ſagt in ſeinen Schriften nicht, auf welche Weiſe man aus der Krümmung und aus der Stellung der Linſen, aus denen das Inſtrument beſteht, die Vergrößerung herleiten kann. Descartes beſchäftigte ſich zuerſt mit dieſer Aufgabe, doch ohne die Löſung zu finden, ſo daß Huyghens den Leſern der ſo berühmten Dioptrik unſers Landsmanns ſogar den Rath gab, ſich nicht zu ſehr um das Verſtändniß deſſen zu bemühen, „was (ſeiner Anſicht nach) in Betreff der Wirkungsweiſe der Fernröhre gar keinen Sinn hat[10].“

Huyghens hat zuerſt gezeigt, auf welche Weiſe Objectiv und Ocular im Fernrohre wirken; ihm verdankt man auch die ſo einfache Vorſchrift, nach welcher man die Vergrößerung aus den Werthen der Brennweiten beider Linſen herleiten könnte.

Sechszehntes Kapitel.

Aus welchem Grunde ſchwach vergrößernde Fernröhre gar nicht zu vergrößern ſcheinen.

Beobachtet man einen Himmelskörper, etwa den Mond, durch ein gutes Fernrohr mit ſchwacher, fünf- oder ſechsmaliger Vergrößerung, ſo glaubt man ihn gar nicht vergrößert zu ſehen. Alle, die dieſen

Verſuch einmal gemacht haben, geben ohne Weiteres zu, daß ein ſolches Fernrohr zwar die Bilder heller, und entfernte Gegenſtände deutlicher zeigt, aber mehr mögen ſie nicht zugeſtehen: Vergrößerung ſcheint ihnen gar nicht vorhanden, und am liebſten würden ſie behaupten, das Fernrohr habe die ſcheinbare Größe der Gegenſtände verringert. Ich glaube, daß die Urſache dieſer Täuſchungen und das Mittel, ſie zu entfernen, in Folgendem beſteht. Unſer Urtheil über die Größe eines Gegenſtandes iſt in hohem Grade abhängig von der Entfernung, in welcher wir uns dieſen Gegenſtand befindlich denken; die Schätzung der Entfernung hängt aber von mannigfachen Umſtänden ab, und zwar zumeiſt von der Schärfe des Sehens. Sehen wir nämlich die kleinſten Theile eines Objects mit großer Genauigkeit, ſo ſind wir geneigt, uns den Gegenſtand ſehr nahe zu denken, und in Folge deſſen legen wir ihm ſogleich eine geringere räumliche Ausdehnung bei, als wir thun würden, wenn uns das Object in ſeiner wirklichen Entfernung erſchiene. Nun erblickt man durch ein Fernrohr, das nur fünf oder ſechs Mal vergrößert, auf dem Monde alle Theile mit ſo großer Schärfe, daß das Geſtirn wie auf Armlänge nahe und folglich kleiner erſcheint, als man nach dem Umfange ſeines vergrößerten Bildes erwarten ſollte. Um dieſe Täuſchung wegzuſchaffen, hat man nur nöthig dasjenige Auge zu öffnen, welches man vorher geſchloſſen hielt, und das alſo nicht hinter dem Fernrohre befindlich war. Sobald man das thut, erblickt man zwei Mondbilder, das eine in der natürlichen Größe, das andere in ſeiner Vergrößerung. Da man nun aber die Bilder in dieſelbe Entfernnng verſetzt, ſo wird man deutlich bemerken, daß der Durchmeſſer des vom Fernrohre erzeugten Bildes fünf oder ſechs Mal größer iſt, als der Durchmeſſer des mit bloßem Auge geſehenen Bildes.

Siebenzehntes Kapitel.

Geſichtsfeld.

Nichts iſt in wiſſenſchaftlichen Dingen gefährlicher, als Verſchiedenartiges untereinander zu vergleichen: man ſtützt ſich dabei faſt allemal auf unbeſtimmte Vorſtellungen und wird zu irrigen Anſichten verleitet, welche nachher von der wahren, wiſſenſchaftlichen Aufklärung nur mit Mühe verdrängt werden. Den meiſten Menſchen (um beim Gegenſtande unſerer Betrachtungen zu bleiben) ſcheint ſich das Objectiv eines Fernrohrs etwa wie das Fenſter eines Zimmers zu verhalten; je breiter daſſelbe iſt, deſto mehr Gegenſtände wird man gleichzeitig und auf einen einzigen Blick überſehen, oder deſto größer wird, um den techniſchen Ausdruck anzuwenden, das Geſichtsfeld des Fernrohrs ſein.

So logiſch dieſe Folgerung auf den erſten Anblick erſcheint, ſo irrig iſt ſie in der That, wie leicht gezeigt werden kann.

AB ſei das Objectiv und CD das Ocular eines Fernrohrs (Fig. 77). Durch die äußerſten Ränder C und D dieſes Oculars und durch den optiſchen Mittelpunkt O des Objectivs ziehe man die Linien COM und DOL; der Gegenſtand ML wird in M'L' abgebildet ſein. Man ſieht, daß alle von der Centrallinie Pp weiter als L und M entfernten Punkte im Bilde unterhalb des Punktes L' und oberhalb des Punktes M' liegen müſſen; folglich werden alle Strahlen, die von Punkten ausgehen, welche oberhalb L und unterhalb M liegen, beſonders wenn die Vergrößerung etwas beträchtlich iſt, nach ihrer Durchkreuzung nicht die Ocularlinſe treffen, von der kein Theil dieſen Punkten gegenüber liegt, und in dieſem Falle müſſen ſie unbemerkt bleiben.

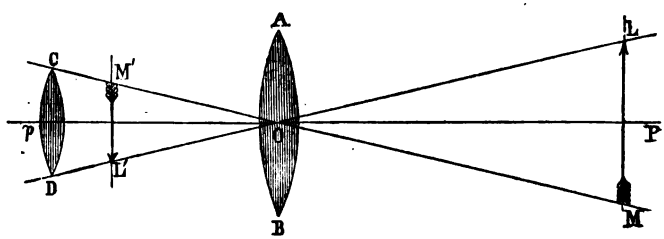


Fig. 77. — Geſichtsfeld eines Fernrohrs.

Die doppelte Größe des durch die Axe Pp und die Linie OL gebildeten Winkels bezeichnet den Raum, innerhalb dessen alle Gegenstände sichtbar sind, so lange das Fernrohr unverrückt bleibt.

Diesen Winkel, also das Doppelte des Winkels POL nennt man die Größe des Gesichtsfeldes, die folglich mit den Dimensionen des Ocularglases zugleich veränderlich ist. Wenn diese Linse in einen Ring gefaßt ist, den man die Fassung nennt, so hängt das Gesichtsfeld fast gar nicht von der Größe des Objectivs ab, sondern allein von dem Raume, welchen die Fassung frei läßt. Es folgt hieraus unmittelbar, daß das Feld eines Fernrohrs mit zunehmender Vergrößerung abnimmt, denn bei stärkeren Vergrößerungen muß sich der Durchmesser der Ocularlinse verringern.

Achtzehntes Kapitel.

Mikrometer.

Wie schon der Name sagt, hat das Mikrometer den Zweck, kleine Winkel zu messen, d. h. Gegenstände, die innerhalb des Gesichtsfeldes eines Fernrohrs liegen.

Ich will hier versuchen, von der Einrichtung und von den Eigenschaften der Fadenmikrometer eine genaue und klare Vorstellung zu geben.

Wir wissen bereits, daß das Ocularglas eines Fernrohrs dazu dient, das in der Luft schwebende, im Brennpunkte des Objectivs erzeugte Bild (Luftbild) zu vergrößern. Die Einrichtung der Mikrometer beruht nun auf folgender, sehr wichtigen Thatsache, welche aus Theorie und Erfahrung hervorgeht: befindet sich ein materieller Gegenstand an demselben Orte, den dies Luftbild einnimmt, so wird er mit dem Bilde zugleich deutlich sichtbar sein.

Angenommen man habe in großer Entfernung vom Standpunkte des Beobachters auf einer schwarzen Tafel einen kleinen Kreis gezeichnet, dessen Durchmesser sämmtlich unter dem Winkel von vielleicht

einer Minute erscheinen, so wird von diesem Kreise im Brennpunkte des Fernrohrs ein Luftbild entstehen. Bringt man nun in diesen Brennpunkt zwei sehr feine Fäden, die vom Oculare gesehen, das kreisrunde Bild an den beiden Enden des horizontalen Durchmessers berühren, so wird man auf diese Weise, innerhalb des Fernrohrfeldes, den Zwischenraum bestimmt haben, der einer Minute entspricht, gleichviel auf welchen Gegenstand man das Fernrohr gerichtet hat.

Geht man von der horizontalen Richtung zu einer beliebig geneigten über, sogar zur verticalen, so ist in der That einleuchtend, daß die Entfernung der beiden Fäden, die in der ersten Lage einer Minute entsprach, stets dieselbe bleiben muß.

Mit Hülfe eines dritten Fadens, der vom zweiten ebensoweit entfernt ist, als dieser vom ersten, erhält man einen zweiten Zwischenraum von einer Minute; dasselbe gilt von einem vierten Faden im Verhältnisse zum dritten, vorausgesetzt daß sich die Entfernungen stets gleich bleiben, und ebenso von den vierzig Fäden, die man z. B. alle parallel untereinander, im Gesichtsfelde aufspannen kann.

Stände zu befürchten, daß man nicht ausreichende Hülfsmittel habe, um die naheliegenden Fäden in Abständen aufzuspannen, die dem Abstande der beiden ersten Fäden streng gleich sind, so würde man folgendes Verfahren einschlagen. Nachdem man einen kreisrunden Gegenstand beobachtet hat, der unter dem Winkel von einer Minute erscheint, beobachtet man ein anderes Object, das zwei Minuten groß erscheint; liegt alsdann der Horizontaldurchmesser dieses zweiten Objects genau zwischen dem ersten und dritten Faden eingeschlossen, so ist bewiesen, daß dieser dritte Faden vom zweiten um eine Größe absteht, die einer Minute gleich ist.

Einen vierten Faden würde man in der gehörigen Lage gegen den dritten einspannen, indem man sich nach dem Horizontaldurchmesser einer kreisrunden Scheibe richtet, die unter einem Winkel von drei Minuten erscheint u. s. f.

Diese Absehnslinien, die man so im Brennpunkte eines Fernrohrs angebracht hat, und welche unveränderlich mit dem Rohre verbunden sind, würden zur Bestimmung der horizontalen Winkeldurch-

meſſer aller Gegenſtände auf der Erde oder am Himmel dienen können, auf welche man das Fernrohr richtet.

Genau daſſelbe Verfahren würde man befolgt haben, hätte man ſich Abſehenslinien zur Meſſung der Verticaldurchmeſſer verſchaffen wollen. Das Syſtem dieſer horizontalen und verticalen Fäden würde im Geſichtsfelde ein aus nebeneinander liegenden Quadraten beſtehendes Netz bilden, und jedes dieſer Quadrate würde 60 Secunden zur Seite haben.

Eines derartigen Syſtems könnte man ſich bedienen, um in Minuten, d. h. in Sätzen von je 60 Secunden, die horizontalen und verticalen Durchmeſſer der Sonne, des Mondes und der Planeten zu beſtimmen. Wenn es ſich nämlich um den Verticaldurchmeſſer handelt, ſo wird man durch ſanfte Bewegung des Fernrohrs den untern Rand der Scheibe des Geſtirns mit einem der Horizontalfäden in Berührung bringen, und darauf nachſehen, welcher von den mit dem erſten parallelen Fäden den obern Rand ſtreift.

Alsdann wird der Verticaldurchmeſſer ſo viele Minuten enthalten, als er Fädenintervalle umfaßt, und eine Schätzung wird nur in dem Falle übrig bleiben, wo kein Faden genau auf den obern Rand der Scheibe trifft, wenn nämlich dieſer Rand zwiſchen zwei Fäden des Netzes endet. Der Durchmeſſer beſteht in dieſem Falle aus der Anzahl von Minuten, welche der Zahl ganzer Zwiſchenräume gleich iſt, die vom Durchmeſſer bedeckt werden, und aus einem Minutenbruchtheile, der je nach der Schätzung der Aſtronomen ein Halb, ein Drittel, ein Viertel betragen wird.

Beabſichtigt man die Winkelgröße des Horizontaldurchmeſſers eines Geſtirns zu meſſen, ſo verfährt man auf dieſelbe Weiſe; nur ſind alsdann Verticalfäden die Abſehenslinien, und man erhält den einen dieſer Fäden in Berührung mit den Rändern des Geſtirns, während man den andern Faden aufſucht, welcher den gegenüberſtehenden Rand ſtreift.

Sowohl die Nothwendigkeit, in der ſich die Aſtronomen befanden ſobald der zu meſſende Durchmeſſer nicht genau von zwei Fäden des Netzes gefaßt wird, Bruchtheile der Minute ſchätzen zu müſſen, als auch der Uebelſtand, den die große Anzahl von Fäden nothwendig

herbeiführt, hat zu einer Abänderung des beſchriebenen Verfahrens Veranlaſſung gegeben, ohne daß jedoch das Princip ſelbſt geändert worden wäre.

Dieſe Abänderung beſteht darin, daß man im gemeinſchaftlichen Brennpunkte des Objectivs und Oculars einen feſten und einen beweglichen Faden anbringt, welchen letzteren man ganz willkürlich in alle möglichen Entfernungen vom erſten bringen kann. Dieſer bewegliche Faden iſt an einer Platte (dem Schlitten) befeſtigt, die von einer Schraube bewegt wird. Iſt dieſe recht regelmäßig, d. h. liegen die Schraubengänge alle gleich weit von einander, ſo wird ſich der bewegliche Faden, den die Platte mit ſich führt, bei jeder Schraubenumdrehung um dieſelbe Größe vom feſten Faden entfernen, und es bleibt nur noch übrig durch wirkliche Beobachtung, mit Hülfe von gehörig entfernten Marken, den Winkelwerth im Raume zu beſtimmen, um welchen ſich der Faden bei jeder Umdrehung der ihn führenden Schraube dem feſten Faden parallel verſchiebt.

Beträgt dieſer Raum z. B. eine Minute, und hat man einen Durchmeſſer von etwa dreißig Minuten zu meſſen, ſo macht man dreißig Umdrehungen der Schraube, von demjenigen Punkte an gerechnet, wo der bewegliche Faden mit dem feſten coincidirte.

Beträgt der Durchmeſſer dreißig Minuten und einen Bruchtheil, ſo muß man, um beide Berührungen herzuſtellen, die Mikrometerſchraube dreißig ganze Umdrehungen und eine theilweiſe Umdrehung machen laſſen; den Betrag dieſer letzteren findet man durch einen Proportionaltheil als einen Bruchtheil der Minute oder Secunde. Bei dieſem Verfahren wird, wie man ſieht, eine Meſſung an die Stelle einer Schätzung geſetzt, die nach der Natur der Sache den Beobachter nothwendig jeder Zeit etwas ungewiß laſſen muß.

Dies Mikrometer erfordert, daß man durch eine gehörige Bewegung des Fernrohrs im Stande ſei, den einen Rand des zu meſſenden Geſtirns mit dem feſten Faden in Berührung zu halten, während man den beweglichen Faden den andern Rand berühren läßt. Dieſe Bedingung iſt mitunter nicht leicht zu erfüllen, aber es iſt hier nicht der Ort anzugeben, wie man dieſe Schwierigkeit dennoch überwunden hat.

Das Vorangehende wird vom Mikrometer eine Vorſtellung geben,

die ſoweit ausreicht, daß ich überall in der Folge vorausſetzen darf, man habe ſich dieſes Inſtruments bei der Meſſung der kleinen Winkel bedient.

Ich habe, wie man bemerkt haben wird, die Nothwendigkeit hervorgehoben, in großer Entfernung die terreſtriſchen Marken anzubringen, deren man ſich bedient, um die unveränderlichen Fädenintervalle in den Netzmikrometern zu beſtimmen, oder die veränderlichen Abſtände des beweglichen Fadens vom feſten bei denjenigen Mikrometern, die in allgemeinen Gebrauch gekommen ſind.

Dieſer Umſtand iſt erforderlich, weil das Fernrohr bei den vorbereitenden Verſuchen nothwendig dieſelbe Brennweite haben muß wie bei der Beobachtung der Himmelskörper.

Es iſt in der That einleuchtend, daß in der Ebene des Brennpunkts eine Minute um ſo größeren Raum einnehmen muß, als die Brennweite des Fernrohrs beträchtlicher iſt. Die Ocularlinſe dagegen kann beliebig geändert werden, ohne daß ſich der Winkelwerth der Umgänge der Mikrometerſchraube ändert. Geſetzt es ſeien, bei einer gegebenen Vergrößerung, zwei Fäden mit den beiden Rändern eines Bildes in Berührung, ſo wird dieſe Berührung bei jeder Vergrößerung fortbeſtehen, ſogar noch dann, wenn durch eine Aenderung im Fernrohre die urſprüngliche Vergrößerung verdoppelt oder verdreifacht ſein ſollte, denn zu gleicher Zeit werden ſowohl die Ausdehnung des Luftbildes von dem Gegenſtande, den man betrachtet, vergrößert, als auch der Zwiſchenraum zwiſchen den beiden Fäden, die man als Abſehenslinien gewählt hat[11]).

Neunzehntes Kapitel.

Von den Mikroſkopen.

Der Mikroſkope bedient man ſich in der Aſtronomie, um die Theilungen an den eingetheilten Inſtrumenten zu vergrößern. Es ſind dies entweder einfache oder zuſammengeſetzte Mikroſkope; iſt das Mikroſkop einfach, oder beſteht es aus einer einzigen Linſe, ſo nennt man es

Loupe; es unterſcheidet ſich dann in ſeiner Wirkungsweiſe nicht von der Linſe, deren ſich die Naturforſcher zur Vergrößerung der Gegenſtände bedienen, oder die man in den Fernröhren anbringt, um die Luftbilder zu vergrößern, die im Brennpunkte des Objectivs entſtehen.

Denſelben Zweck haben die zuſammengeſetzten Mikroſkope, die man gewöhnlich zur Unterſuchung der Theilungen bei den Meridiankreiſen anwendet, aber von der eigentlichen Loupe unterſcheiden ſie ſich weſentlich, obgleich dieſe den Hauptbeſtandtheil davon ausmacht.

Befindet ſich ein Gegenſtand genau im Brennpunkte einer Linſe, ſo werden die Strahlen, welche von jedem ſeiner Punkte ausgehen, nach der Brechung an der entgegengeſetzten Seite untereinander parallel ausfahren. Durch dieſe Strahlen kann alſo kein Bild des Gegenſtandes hervorgerufen werden; ebenſowenig können ſie ein wirkliches Bild erzeugen, wenn ſich der Gegenſtand zwiſchen dem Brennpunkte und der Glasfläche befindet. Die von jedem Punkte des Gegenſtandes ausfahrenden Strahlen treten dann divergirend aus der Linſe hervor, und vereinigen ſich nicht, um ein Bild in der Luft zu erzeugen. Iſt der Gegenſtand dagegen weiter als der Brennpunkt für parallele Strahlen von der Linſe entfernt, ſo vereinigen ſich die gebrochenen Strahlen jedesmal und geben zu einem Bilde dieſes Gegenſtandes Veranlaſſung. Man kann noch hinzufügen, daß wenn die Umſtände dieſelben bleiben, das Bild um ſo entfernter zu Stande kommt, und gleichzeitig auch um ſo größer iſt, als der der Linſe gegenüberſtehende Gegenſtand dem Brennpunkte näher liegt.

Nimmt man nun zur Beobachtung dieſes ſo vergrößerten Luftbildes eine Ocularlinſe, wie bei den Fernröhren geſchieht, ſo erhält man das Inſtrument, welches man ein zuſammengeſetztes Mikroſkop nennt. Gleichwie bei den aſtronomiſchen Fernröhren kann man auch bei dieſem Mikroſkope Fadennetze anwenden, und iſt, wenn dieſe Fäden durch eine Schraube verſchiebbar ſind, auf dieſe Weiſe im Stande, den Zwiſchenraum in Unterabtheilungen zu bringen, welcher ſich zwiſchen den vom Künſtler auf den Limbus gravirten Strichen befindet, auf die das Mikroſkop gerichtet iſt.

Die Vergrößerung der zuſammengeſetzten Mikroſkope rührt meiſt von der Objectivlinſe her, die einen ſehr nahe liegenden Brennpunkt

hat, in deſſen unmittelbarer Nähe ſich die zu vergrößernden Gegenſtände befinden, während beim Fernrohre die Vergrößerung zumeiſt von der Ocularlinſe herrührt.

Die Objectivlinſen eines Mikroſkops ſind ſtark gekrümmt, und bieten alſo wenig Oberfläche; man findet deshalb leicht Glas, das zur Herſtellung derſelben geeignet iſt. Wir haben bereits erfahren, daß es ſich mit den Objectivlinſen der aſtronomiſchen Fernröhre anders verhält. Es iſt den Künſtlern gelungen ſehr kleine Mikroſkoplinſen aus Flint- und Crownglas zu erzeugen, ſo daß dieſelben achromatiſch ſind.

Zwanzigſtes Kapitel.

Ein leuchtender Gegenſtand von merklichem Durchmeſſer behält denſelben Glanz in allen Entfernungen.

Um die verhältnißmäßigen Lichtmengen kennen zu lernen, welche ſtrahlende Körper auf einen gegebenen Punkt werfen, muß man nothwendiger Weiſe auf zwei verſchiedene, gleich wichtige Elemente Rückſicht nehmen: auf die ſcheinbare Ausdehnung der Oberfläche dieſer Körper, ſo wie ſie vom gegebenen Punkte geſehen werden, und auf den ſpecifiſchen Glanz, der den Körpern eigenthümlich iſt.

Unter ſonſt gleichbleibenden Umſtänden wollen wir annehmen, der Durchmeſſer der Sonne werde verringert bis auf die Hälfte, das Drittel, Viertel ... Zehntel ihres heutigen Durchmeſſers; dann wird die ſcheinbare Oberfläche, welche im Verhältniſſe der Quadrate eben dieſer Zahlen abnimmt, nur noch ein Viertel, ein Neuntel, ein Sechzehntel .... ein Hundertel von ihrem heutigen Werthe behalten, und dieſe Oberfläche wird auf den Punkt, wo ſich der Beobachter befindet, nur den vierten, neunten, ſechzehnten .... hunderten Theil von den Strahlen entſenden, die ſie vorher ausſchickte. Es iſt in der That leicht zu begreifen, daß Alles genau ſo vor ſich gehen würde, als wenn man mittelſt eines Schirmes der Reihe nach $^3/_4$, $^8/_9$, $^{15}/_{16}$, $^{99}/_{100}$ der Sonnenoberfläche verdeckte, oder mit andern Worten, als wenn ebenſo große Theile dieſer Oberfläche der Reihe nach verlöſchten oder vernichtet würden.

Nicht weniger einleuchtend ist es ferner, daß wenn die scheinbare, leuchtende Oberfläche zwar dieselbe Größe behält, wenn aber jedes der Elemente, aus denen sie besteht, z. B. jedes ihrer Theilchen von einem Quadratmillimeter, seinen specifischen Glanz um das Doppelte, Dreifache, Vierfache...., Hundertfache des früheren specifischen Glanzes vermehrte, die Leuchtkraft des Ganzen ebenso auf das Doppelte, Dreifache, Vierfache ...., Hundertfache erhöht werden müßte. Man nehme z. B. den Mond; sein mittlerer specifischer Glanz, die ihm eigenthümliche Helligkeit ist, wie wir späterhin sehen werden, nur der 300000ste Theil des Glanzes der Sonne, und deshalb wird das Licht, das er über alle Punkte der Erde verbreitet, nur der 300000ste Theil von dem sein, welches die Sonne ausstrahlt, obgleich doch diese beiden Himmelskörper, von der Erde aus gesehen, unter demselben Winkel erscheinen, obgleich ihre Oberflächen sich gleich groß zeigen.

Zuerst erinnere ich an folgenden Grundsatz: Licht, das von einem strahlenden Punkte kommend ins Auge tritt, wird im Verhältnisse des Quadrats der Abstände geschwächt.

Nehmen wir nun an, daß während das Auge in O verweilt (Fig. 78), ein Beobachter durch die kleine kreisrunde Oeffnung I I blickt, die eine Minute umfaßt; nehmen wir ferner an, die glühende Oberfläche AB werde nach einander in die doppelte Entfernung A'B', in die dreifache Entfernung A''B'' gebracht....; so behaupte ich, daß die Oeffnung I I bei allen diesen Lagen in demselben Glanze erscheinen wird.

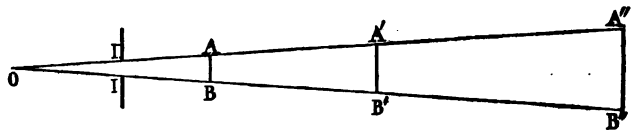


Fig. 78. — Die Lichtstärke ist von der Entfernung abhängig.

Die Durchmesser AB, A'B', A''B''... verhalten sich in der That wie 1 zu 2, wie 1 zu 3 u. s. w.; die Oberflächen der Kreise, von denen diese Linien die Durchmesser sind, verhalten sich wie 1 zu 4, wie 1 zu 9 u. s. w.; es wird folglich die Anzahl der in den Kreisen AB, A'B', A''B''... enthaltenen leuchtenden Punkte wie das Quadrat

der Entfernungen zunehmen. Dieſe Kreiſe bezeichnen die Größe der Oberflächen, die bei verſchiedenen Entfernungen zum Entſtehen der Bilder von einer Minute mitwirken, und die Bilder würden, wenn jeder Punkt ſeinen Glanz unverändert beibehielte, im Verhältniſſe der Quadrate der Abſtände an Helligkeit zunehmen. Doch wir wiſſen bereits, daß das Licht eines Punktes, einzeln betrachtet, wie die Quadrate der Abſtände abnimmt. Wenn nun der Kreis A'B' vier Mal mehr ſtrahlende Punkte enthält als der Kreis AB, ſo wird andrerſeits jeder von dieſen Punkten im Bilde mit einer Helligkeit dargeſtellt, die nur ein Viertel von derjenigen iſt, welche die in AB enthaltenen Punkte hervorbringen. Vervierfacht man auf der einen Seite die Anzahl der ſtrahlenden Punkte, während auf der andern Seite die Helligkeit dieſer Punkte auf den vierten Theil des urſprünglichen Glanzes herabſinkt, ſo findet Ausgleichung ſtatt, und der urſprüngliche Zuſtand währt unverändert fort.

Einundzwanzigſtes Kapitel.

Dauer der Empfindung des Sehens.

Aus der Zahl unſerer Empfindungen dauern einige noch eine Zeit lang fort, nachdem die Urſache zu wirken bereits aufgehört hat. Dahin gehört die Empfindung des Sehens; denn ſonſt würde eine glühende Kohle, die man ſchnell im Kreiſe herumführt, nicht den Anblick einer **ununterbrochenen Lichtlinie** bieten, indem ja die Kohle nicht gleichzeitig in allen Punkten des Kreiſes ſein kann. Damit dieſe ununterbrochene Linie entſtehe, muß die Kohle die Curve in einem Zeitintervall beſchreiben, welches nicht länger iſt als die Dauer der Lichtempfindung, die ſie in verſchiedenen Punkten auf der Netzhaut hervorruft.

Aus den Verſuchen D'Arcy's vom Jahre 1765 iſt erwieſen, daß die Lichtlinie **Unterbrechungen des Zuſammenhanges** zeigt, ſobald die Umlaufszeit der Kohle mehr als 8 Terzien beträgt, d. h. $^8/_{60}$ Secunde oder 0″,133.

Als D'Arcy diesen Versuch in anderer Weise anstellte, indem er nämlich vor der jetzt unbeweglichen Kohle einen undurchsichtigen Kreis sich drehen ließ, der in der Nähe des Umfangs mit einem Loch versehen war, welches bei jeder Umdrehung vor die Kohle trat, fand er, daß die Kohle nicht verdunkelt wurde, sondern ununterbrochen sichtbar blieb, sobald der rotirende Kreis nicht mehr als 9 Terzien zum Umlauf brauchte, d. h. $^9/_{60}$ Secunde oder $0'',150$ [12]).

Ein sehr starkes Licht erregt Schmerz in den Augen und läßt einen Eindruck von längerer oder kürzerer Dauer zurück. Man sehe mit einem Auge in die Sonne, und wäre es nur einen Augenblick lang, ohne Anwendung von Blendgläsern, so wird der Beobachter, selbst nachdem er das Auge geschlossen hat, ein sehr scharfes Bild der Sonne zu sehen glauben.

La Hire erzählt in seinem Traité des différents accidents de la vue (Abhandlung über verschiedene Umstände beim Sehen) im 9. Band der Abhandlungen der pariser Akademie, daß dies Bild, nachdem man das Auge geschlossen hat, zuerst roth erscheint, und daß es darauf der Reihe nach durch gelb, grün und blau geht [13]).

La Hire bemerkt ferner, daß diese Regelmäßigkeit in der Aufeinanderfolge bei den Farben des Flecks, der die Sonne vorstellt, sogleich wegfällt, wenn man das offenbleibende Auge auf verschieden gefärbte Gegenstände richtet. Ist der Fleck bei geschlossenem Auge gelb, so wird er grün erscheinen, sobald der Beobachter einen blauen Gegenstand ansieht. Ist er bei geschlossenem Auge blau, so wird er wieder grün in dem Augenblicke, wo der Beobachter das Auge öffnet und auf einen gelben Grund wendet.

Dies Phänomen erklärt La Hire durch die Bemerkung, daß Grün durch Vermischung des Gelb und Blau entstehe.

Zweiundzwanzigstes Kapitel.

Beobachtung sehr schwacher Gegenstände.

Ist das Auge durch Einwirkung eines hellen Lichts mehr oder weniger geblendet, so kommt es nur nach und nach auf den Normal-

zustand zurück; die einmal abgestumpfte Empfindlichkeit der Netzhaut wird nur stufenweise wiederhergestellt.

Das sind Thatsachen, die man gewiß schon in den ältesten Zeiten gekannt hat; denn zeigt nicht eine alltägliche Erfahrung, daß wenn man plötzlich aus dem hellen Tage in einen sehr schwach erleuchteten Raum eintritt, es einer ziemlich langen Zeit bedarf, bevor man die Gegenstände erkennen kann?

Schwaches Licht bringt bei noch beträchtlich schwächerem ganz ähnliche Erscheinungen hervor; sehr schwaches Licht vermag schon (wenn der Ausdruck gestattet ist), augenblickliche Blendung hervorzurufen, unter deren Einflusse gewisse Gegenstände durchaus unsichtbar bleiben.

„Zwanzig Minuten," sagt William Herschel, „waren, sobald ich aus einem hellen Zimmer kam, nicht zu viel, wenn ich mit ausgeruhtem Auge sehr feine Gegenstände im Fernrohre erkennen wollte." Nach dem Durchgange eines Sterns zweiter Größe durch das Feld des Instruments brauchte jener berühmte Beobachter einen ebenso großen Zeitraum von zwanzig Minuten, bevor sich sein Auge wieder beruhigte[14]).

Der jüngere Herschel erzählt, daß er erst anfing die Monde des Uranus in seinen großen Fernröhren zu sehen, wenn er das Auge eine gute Viertelstunde am Ocular gehabt, und sich unterdessen immer sorgfältiger vor der Einwirkung jedes äußern Lichtes gehütet hatte.

Ein helles Licht macht, daß man sehr schwache Lichter in seiner Nähe nicht sieht.

Diese Thatsache wiederholt sich jedes Mal; ich kann sogar Fälle anführen, wo seltsam genug Uranus, den man doch mit bloßem Auge kaum sieht, die Rolle eines hellen Lichtes spielte.

In William Herschel's Beobachtungen mit dem zwanzigfüßigen Teleskope verschwand der erste Uranusmond regelmäßig, sobald er weniger als 14.″ [15]) vom Mittelpunkte des Planeten abstand; der zweite Mond seinerseits verschwand, sobald der Abstand im Bogen geringer war als 17″. Ebenso verschwanden sehr kleine Sterne, je nach dem Grade ihrer Helligkeit, in größeren oder kleineren Abständen vom Uranus.

Es scheint, daß diese Thatsache von mehreren unterschiedlichen Ursachen, oder von der Verbindung derselben herrührt. Möglicherweise erstreckt sich die auf der Retina, durch die zur Erzeugung des Planetenbildes mitwirkenden Strahlen hervorgerufene Erschütterung etwas weiter als der Umfang dieses Bildes, und erschwert daselbst die Sichtbarkeit sehr schwacher Lichter; auch könnte man glauben, daß in Folge einiger Unvollkommenheiten, einer kleinen Aberration im Spiegel des Teleskops, das Hauptbild bis auf eine gewisse Entfernung wie von einem matt leuchtenden Ringe umgeben sei.

Dreiundzwanzigstes Kapitel.

Feld des natürlichen Sehens.

Ptolemäus behauptete durch Versuche erkannt zu haben, daß das Sehfeld, d. h. der Raum, den das unbewegte Auge gleichzeitig übersieht, durch einen rechtwinkligen Kegel begrenzt wird, nämlich durch einen Kegel, dessen Scheitel in der Pupille liegt, und dessen diametral gegenüberstehende Seiten aufeinander senkrecht sind. Diese Angabe hat uns Heliodor aus Lariſſa überliefert, denn das erste Buch der Optik des Ptolemäus ist nicht mehr vorhanden[16]). Die neueren Schriftsteller haben diese Behauptung zur ihrigen gemacht; es folgt daraus, daß man, um mit einem Blicke Horizont und Zenith zu sehen, die Augenaxe auf 45° Höhe richten muß, und daß man niemals, ohne das Auge zu drehen, mehr als den vierten Theil des Himmelsgewölbes gleichzeitig übersehen kann[17]).

Auf andere Zahlen ist Venturi gekommen; nach ihm beträgt die Winkelweite des Sehens in horizontaler Richtung 135°, dagegen nur 112° in verticaler Richtung. Das natürliche Feld leidlich deutlichen Sehens dehnt der italienische Physiker sogar kaum bis auf 18° aus. Nach Brewster würde die Winkelweite im horizontalen Sinne 150° und im verticalen 120° betragen.

Sobald dies feststeht, ist es kaum nöthig zu erklären, woher es kommt, daß wir die Gesammtheit der Theile eines umfänglichen Ge-

genſtandes gleichzeitig ziemlich deutlich ſehen oder zu ſehen glauben. Faſt kann man ſich begnügen, Euklid oder Ptolemäus reden zu laſſen:

„Wenn wir uns einbilden, einen Gegenſtand in ſeiner ganzen Ausdehnung zu ſehen, ſo rührt dies," ſagt Euklid, „von der außerordentlichen Schnelligkeit her, mit der unſer Auge in ſteter Bewegung die verſchiedenen Theile durchläuft, ohne einen einzigen zu vergeſſen."

„Der ſeiner Natur nach durchdringende und lebhafte Geſichtsſinn," ſagt ſeinerſeits Ptolemäus, „durchforſcht mit großer Schnelligkeit alle Regionen eines Objects; die optiſche Are richtet ſich der Reihe nach auf jeden Punkt mit unvergleichlicher Geſchwindigkeit. Auf dieſe Weiſe wird unſeren Sinnen ein vollſtändiges und genaues Bild des Gegenſtandes mitgetheilt."

Vierundzwanzigſtes Kapitel.

Von den Spiegelteleſkopen.

Man kann das von Hohlſpiegeln erzeugte Bild (S. 69) in der Nähe mit Hülfe eines Vergrößerungsglaſes betrachten, wie wir dies ſchon in Betreff des von einer Objectivlinſe hervorgebrachten Bildes geſagt haben.

Aber bei der Objectivlinſe hatten die vom Objecte kommenden und ſich im Brennpunkte vereinigenden Strahlen auf ihrem Wege keinem undurchſichtigen Körper begegnet, der ſie aufhielt; anders im gegenwärtigen Falle.

Stellte ſich ein Beobachter, um das Focalbild eines Hohlſpiegels zu betrachten, mit ſeiner Ocularlinſe dieſem Bilde gegenüber, ſo würde ſein Kopf die Strahlen, die auf den Spiegel fallen ſollen, größentheils aufhalten. Statt alſo das Bild in ſeiner natürlichen Lage zu beobachten, lenkt man daſſelbe durch einen kleinen Spiegel ſeitwärts ab, der nicht größer als das Bild ſelbſt zu ſein braucht, und der alſo nur einen kleinen Theil der auf den Hauptſpiegel fallenden Strahlen aufhält. In dieſer ſeitlichen Lage wird das Bild mit Ocularlinſen beobachtet, denjenigen ganz ähnlich, deren wir uns bei aſtronomiſchen Fernröhren bedient haben.

Ein ſo eingerichtetes Fernrohr nennt man ein Newton'ſches Spiegelteleſkop.

In einem derartigen Inſtrumente, von dem die untenſtehenden Figuren (Fig. 79 und 80, S. 125) eine genaue Vorſtellung geben

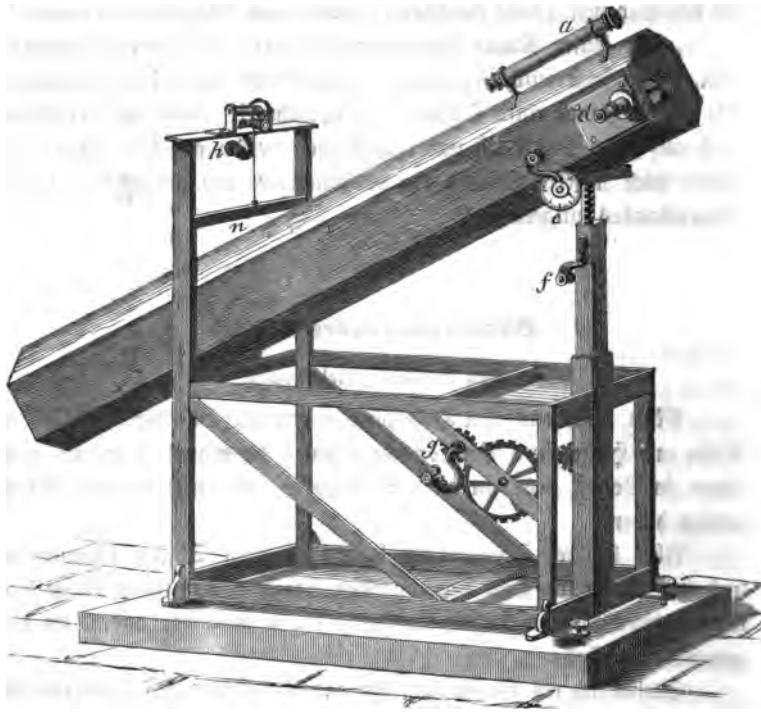


Fig. 79. — Anſicht des Newton'ſchen Spiegelteleſkops *).

*) Der am Boden der Röhre angebrachte Hohlſpiegel bringt ein Bild zu Stande, welches der nahe bei der oberen Oeffnung angebrachte Planſpiegel b ſeitwärts reflectirt, damit es das Auge mittelſt des Oculars d beobachten kann. Das Inſtrument wird mit Hülfe des Suchers a gerichtet, indem man den Rahmen m durch die Kurbel h in Falzen aufwindet. Vorn kann man das Inſtrument durch die Zahnwerke g und f, welche langſame und ſchnelle Bewegung geſtatten, ebenfalls abwärts und aufwärts bewegen. Endlich kann man es mittelſt des Zahnwerks e von links nach rechts und umgekehrt verſchieben.

werden, ſteht der Beobachter in einer Richtung, die ſenkrecht ſteht auf der Linie von ſeinem Standpunkte zum betrachteten Gegenſtande.

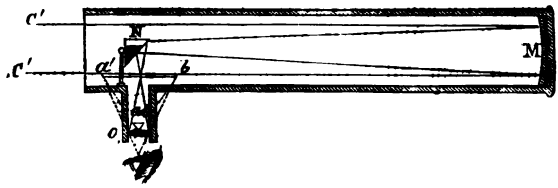


Fig. 80. — Durchſchnitt des Newton'ſchen Teleſkops*).

Man hat noch eine andere Art ſolcher Teleſkope, das ſogenannte Gregory'ſche Teleſkop, das ſich in gewiſſen Beziehungen von der Newton'ſchen Einrichtung unterſcheidet.

Bei der Gregory'ſchen Einrichtung (Fig. 81, S. 126, und 82, S. 127) bringt man etwas jenſeit des Focalbildes einen Spiegel an, deſſen Dimenſionen nicht nothwendig beträchtlich ſind; derſelbe ſteht dies Mal ſenkrecht auf der Fernrohraxe, und iſt nicht eben, ſondern ſphäriſch gekrümmt, ſo daß das vom erſten Spiegel erzeugte Bild, nachdem es vom erſten Spiegel zurückgeworfen iſt, ein zweites Bild hervorbringt, welches außerhalb des Inſtruments zu Stande kommt, indem die Strahlen durch eine im Mittelpunkte des großen Spiegels angebrachte Oeffnung fallen; dort wird es von der Ocularlinſe vergrößert.

Bedient man ſich eines Gregory'ſchen Teleſkops, ſo ſteht alſo der Beobachter in Bezug auf die Sterne, als ob er ſich eines gewöhnlichen Fernrohrs bediente. Durch das Vorſtehende iſt klar, daß die Spiegelteleſkope ſich von den dioptriſchen Fernröhren nur dadurch unterſcheiden, daß die Bilder entfernter Gegenſtände, welche von der Ocularlinſe vergrößert werden ſollen, ſtatt durch Brechung zu Stande zu kommen, durch Reflexion hervorgebracht werden. Es bleibt noch zu unterſuchen, ob dieſe neuen Bilder vor den erſteren einen offenbaren Vorzug haben.

*) Der am Boden der Röhre angebrachte Spiegel M liefert ein Bild, welches vor dem Zuſammentreffen der leuchtenden Strahlen C'MN in ſeinem Brennpunkte durch den Spiegel N zurückgeworfen wird, der 45° gegen die Axe des Rohrs geneigt iſt. Dieſer Spiegel N wirft das Bild nach ab; die Ocularlinſe o läßt daſſelbe in a'b' erſcheinen.

Die Helligkeit des Focalbildes hängt ab von der Helligkeit der ſich in jedem ſeiner Punkte vereinigenden Strahlen; je zahlreicher dieſelben ſind, deſto glänzender wird, unter ſonſt gleichen Umſtänden, das Bild ausfallen. Nun wird aber die Anzahl der Strahlen, die ſich in jedem Punkte vom Bilde eines Gegenſtandes im Brennpunkte des Spiegels eines Teleſkops vereinigen, ſtets der Spiegeloberfläche proportional ſein. Da man Teleſkopſpiegel von viel größerer Dimenſion

Fig. 81. — Anſicht des Gregory'ſchen Teleſkops*).

*) a iſt ein kleines Fernrohr, das man den Sucher nennt; b iſt das Ocular, das man einſchiebt oder herauszieht, um es dem Auge des Beobachters anzupaſſen. — Das Inſtrument ſteht auf einem Fußgeſtelle, um welches es drehbar iſt.

verfertigt, als man bisher im Stande ist Fernrohrobjective herzustellen, so werden die Teleskope hellere Focalbilder geben, als die dioptrischen Fernröhre, und in Folge dessen kann man bei den Spiegelteleskopen beträchtlich stärkere Vergrößerungen anwenden.

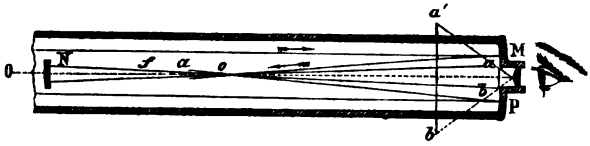


Fig. 82. — Durchschnitt des Gregory'schen Spiegelteleskops*).

Man muß indessen das im Spiegelteleskop erzeugte Bild in Gedanken ziemlich beträchtlich reduciren, wenn man es mit der Helligkeit des im Brennpunkte eines gewöhnlichen Fernrohrs zu Stande kommenden Bildes vergleichen will.

Angenommen der Spiegel eines Newton'schen oder Gregory'schen Teleskops übertreffe an Flächeninhalt acht Mal die Oberfläche eines Objectivglases: so sollte man glauben, das Focalbild des Spiegelteleskops müsse acht Mal heller sein als das Bild des Fernrohrs. Es verhält sich indessen anders, und zwar weil selbst die bestpolirten Spiegel nicht das ganze Licht zurückwerfen, das auf ihre Oberfläche auffällt. Wenn wir annehmen, was von der Wahrheit nicht allzu entfernt ist, daß das von einer polirten Metallfläche zurückgeworfene Licht nur die Hälfte des auffallenden Lichtes ist, so wird das Focalbild des Spiegelteleskops nur die Hälfte derjenigen Helligkeit haben, welche es gehabt hätte, wäre nicht durch die Reflexion ein merklicher Theil des auffallenden Lichts absorbirt worden. Aber die Strahlen des Focalbildes kommen erst an den Ort, wo sich die Ocularlinse ihrer bemäch-

*) Der am Boden des Rohrs befindliche Hohlspiegel macht sein Bild in a zwischen dem Brennpunkte f und dem Mittelpunkte o eines zweiten sehr kleinen Hohlspiegels N, der sich nahe bei der Oeffnung des Rohrs O befindet. Der Spiegel N läßt dann ein Bild in ab zu Stande kommen, nahe am Boden der Röhre, wo eine Ocularlinse MP dem Beobachter das Bild des vergrößerten Gestirns aufrecht in a'b' erscheinen läßt.

tigt, um sie zu vergrößern, nachdem sie von einem zweiten Metallspiegel zurückgeworfen wurden. Da die erste Reflexion die Helligkeit des Bildes auf die Hälfte herabgesetzt hatte und die zweite Reflexion das Licht in demselben Verhältnisse schwächen muß, so wird in dem Bilde, das im Brennpunkte der Ocularlinse zu Stande kommt, endlich nur die Hälfte der Hälfte, oder ein Viertel übrig bleiben.

Diejenigen Strahlen, welche senkrecht durch das durchsichtige Glas gehen, aus welchem das Objectiv eines dioptrischen Fernrohrs besteht, erleiden dagegen fast keine Schwächung; man sieht also, daß um ein Spiegelteleskop mit einem gewöhnlichen Fernrohre in Betreff der Helligkeit vergleichen zu können, die reflectirende Fläche des Teleskops auf den vierten Theil ihrer wirklichen Größe zurückgeführt werden muß.

Wir haben bereits oben erfahren (Kap. 9, S. 90), daß in Folge einer Unvollkommenheit, die man die Abweichung wegen der Kugelgestalt genannt hat, die parallelen Strahlen, welche auf die Oberfläche eines sphärisch-geschliffenen Objectivs fallen, sich nicht alle im mathematischen Brennpunkte vereinigen, und daß diese Aberration eine gewisse Undeutlichkeit in den Bildern erzeugt, die man nur verringern oder vollständig aufheben kann, indem man den Objectivflächen eine der paraboliſchen oder hyperboliſchen mehr oder weniger genäherte Gestalt gibt. Genau dieselbe Aberration besteht auch in den teleskopischen Bildern, die im Brennpunkte sphärischer Spiegel zu Stande kommen; man kann dieselbe, wie schon Descartes bewiesen hat, nur dadurch wegschaffen, daß man der reflectirenden Fläche eine paraboliſche oder hyperboliſche Krümmung gibt. Ich muß aber sogleich den wichtigen Vorzug hervorheben, welchen die durch Reflexion entstandenen Bilder vor denjenigen voraus haben, die durch Linsen von einfachem Glase erzeugt sind. Diese letzteren sind wegen der ungleichen Brechung der Strahlen von verschiedener Farbe mehrfach vorhanden, ein Umstand, der eine unleidliche Undeutlichkeit zur Folge hat. Da hingegen bei der Reflexion die Strahlen aller Farben nicht voneinander getrennt werden, so sind die teleskopischen Bilder durchaus frei von der sogenannten chromatischen Aberration.

Ich will nun den Grund anführen, weshalb man die Construction

der Spiegelteleskope nicht aufgegeben hat, obgleich man seit langer Zeit die chromatische Aberration wegzuschaffen vermag.

Befinden sich in der zur Construction eines Fernrohrobjectivs bestimmten Glasmasse hier und da Schlieren, so entstehen daraus unregelmäßige Brechungen, welche die Klarheit und Deutlichkeit des Bildes erheblich beeinträchtigen. Dieselbe Undeutlichkeit kann aus einer ungleichen Brechungskraft in den verschiedenen Glastheilen entstehen, aus denen die Masse zusammengesetzt ist.

Bei der zur Construction eines Teleskopspiegels bestimmten Metallmasse hat der Mangel der Gleichförmigkeit nicht derartige Folgen, indem die Strahlen, von welcher Dichtigkeit oder von welchem Gefüge das Metall sei, stets nach denselben Gesetzen zurückgeworfen werden. Es steht allein zu befürchten, daß beim Schleifen des Metalls die durch ihre Härte untereinander verschiedenen Theile sich verschieden zusammendrücken, und auf diese Weise, nach vollendeter Arbeit, nicht alle einer und derselben regelmäßigen Curve zugehören.

Fragt man mich nun, aus welchem Grunde die Spiegelteleskope nicht bei den getheilten Instrumenten in Anwendung kommen, so erwiedere ich, daß dies von dem beträchtlich größern Gewichte herrührt, das sie im Vergleiche mit den gewöhnlichen Fernröhren besitzen, und auch von der Schwierigkeit, den Spiegel in einer vollkommen unveränderlichen Lage gegen die ihn einschließende Röhre zu erhalten.

Das Gewicht der Spiegelteleskope rührt von der beträchtlichen Dicke her, welche man dem Spiegel nothwendig geben muß, indem sonst seine Krümmung, selbst durch die leichteste Druckänderung in einem einzelnen Punkte der Oberfläche, sehr merklich geändert wird [18]).

Anmerkungen der deutschen Ausgabe.

Zum dritten Buch.

1. S. 71. Das Gesetz der Brechung des Lichts beim Durchgange aus einem Mittel in ein verschieden dichtes, hatte schon Keppler in seiner Dioptrik (Augsb. 1611) durch Experimente dahin näher bestimmt, daß die Brechungswinkel nicht, wie Maurolycus noch annahm, den Einfallswinkeln proportional sind. Für den Entdecker des eigentlichen Brechungsgesetzes hat man lange Zeit, nach Huygens Vorgange, Willebrord Snellius gehalten, der im Jahre 1613 die mathematische Profes-

sier zu Leyden anstellt, und aus dessen Manuscripten Descartes den Satz entlehnt haben sollte. Aehnliches erzählt auch d'Alembert in der großen Encyklopädie und die Mehrzahl der physikalischen Lehrbücher. Eine genauere Prüfung der Umstände hat indessen dafür entschieden, daß Snellius selbst, obgleich er das Gesetz im Wesentlichen gekannt, es nicht hinlänglich verstanden habe; wenigstens steht unbedingt fest, daß erst Descartes diesem Gesetze seine einfachste, heutzutage allgemein gebräuchliche Form gegeben, und es in dieser Weise zuerst in seiner Dioptrik veröffentlicht hat (Dioptrices cap. II. 7). Vergl. unter Anderm Käſtner's Geſchichte IV. S. 76—78 und Wilde's Geſchichte der Optik I. S. 227—230.

2. S. 73. Von dieser seit dem Anfange des siebzehnten Jahrhunderts verloren geglaubten Schrift hat zuerst Laplace eine aus dem Arabischen gemachte lateinische Uebersetzung auf der pariser Bibliothek aufgefunden; Delambre hat dieselbe später untersucht und im Auszuge bekannt gemacht. Die Tafeln des Ptolemäus und des Vitellio für die Brechung beim Uebergange des Lichts aus Luft und Wasser, respective in Wasser und Glas findet man im 40. Bande von Gilbert's Annalen und in Wilde's Geſchichte der Optik Bd. I. S. 80 und 81.

3. S. 87. Zum Beweise der Behauptung, daß eine klare Einsicht in die Anfangsgründe der Optik nicht durch Kenntniß der analytischen Formeln ersetzt werden könne, möchte es kaum der im Texte erzählten, scherzhaften Anekdote bedurft haben. Allerdings ist es richtig, daß der berühmte halle'sche Gelehrte im August 1798 mit Zach, Lalande, Bode, Gilbert u. A. auf der seeberger Sternwarte zusammentraf (Bode's Jahrbuch 1801, S. 235), und an sich nicht unmöglich, daß Klügel bei dieser Gelegenheit einmal aus Zerstreutheit, oder um schöne Miniaturbilder von den Gegenständen zu erhalten, verkehrt in ein Fernrohr gesehen habe; aber der Schluß, den Arago zieht, wird gerade bei einem so ausgezeichneten Optiker, wie Klügel gewesen, wenigstens in Deutschland unbegründet und vielleicht etwas ungeeignet erscheinen.

4. S. 90. Die Vorzüge der sphärisch-elliptischen und plan-hyperbolischen Gläser vor den sphärisch gekrümmten Linsen erläutert Cartesius im 8. Kap. seiner Dioptrik; aber schon die ersten Bemühungen der holländischen Glasschleifer erwiesen sich erfolglos.

5. S. 94. Newton hat den berühmten Versuch, von dem hier die Rede ist, etwas anders angestellt als Arago berichtet. Er legte nämlich (Optice ed. Clarke p. 92) ein gläsernes Prisma in ein mit Wasser gefülltes Gefäß, und glaubte zu finden, daß wenn die austretenden Strahlen gegen die einfallenden geneigt sind, der Rand der Bilder sich jedesmal gefärbt zeigt. Wurde dagegen durch das Wasserprisma der Brechung durch das Glasprisma vollständig entgegengewirkt, so verschwanden auch die Farben. Vergl. Herſchel vom Lichte, S. 192.

6. S. 94. Im siebenten Kapitel des folgenden Buchs werden die gleichzeitigen oder theilweise vorangegangenen Arbeiten Euler's und des schwedischen Gelehrten Klingenstierna über Achromatismus ausführlich besprochen.

7. S. 101. Die im Texte angegebene Weise die Vergrößerung zu finden ist, was hier bemerkt werden mag, nur nahezu richtig. Ist nämlich s die deutliche Seh-

weite, p die Brennweite der Linse, und bezeichnet m die Vergrößerung, so ist unter der Voraussetzung, daß das Auge der Linse sehr nahe stehe,

$$m = \frac{s}{p} + 1,$$

eine Form, die bei kleinen Werthen von p freilich nur unmerklich von der aufgestellten Regel abweicht.

8. S. 101. Der Neapolitaner di Torre (wie ihn Prieſtley nennt), hat die stärksten Vergrößerungsgläser verfertigt; im Jahre 1765 übersandte er deren vier an die königliche Gesellschaft zu London; eines sollte linear 2560 Mal vergrößern. Vergl. Philos. Transact. Vol. 56, S. 67 und Prieſtley's Geschichte (in der Uebersetzung von Klügel) S. 529.

9. S. 104. Hierauf gründet sich das kleine, zur Bestimmung der Vergrößerungen äußerst bequeme Instrument (Dynamometer), das Ramsden gegen Ende des vorigen Jahrhunderts construirte. Es wurde zuerst beschrieben in Bode's Jahrbuch für 1795, S. 225; die Beschreibung und Theorie desselben findet sich jetzt in allen Lehrbüchern der Physik.

10. S. 108. Christiani Hugenii Dioptrica (Lugd. Bat 1703). S. 172.

11. S. 115. Man verdankt Huygens die erste Idee der Anwendung eines Mikrometers im Fernrohre; er bediente sich einfacher, parallel begrenzter Metallstreifen von verschiedener Breite zur Bestimmung der Planetendurchmesser. (Systema Saturnium 1659, S. 82.) Das im Texte beschriebene Fadenmikrometer mit beweglichen Faden, das in der heutigen Astronomie vorzüglich in Anwendung kommt, ist aus den sogenannten Fadennetzen hervorgegangen, die man in sehr verschiedenen Gestalten in der Brennpunktsebene des astronomischen Fernrohrs anbrachte. Auzout und Picard waren die ersten, die dem Fadenmikrometer seine jetzige Form gaben (1666). Die Ehre dieser Erfindung haben die Engländer, vielleicht mit einigem Rechte, für William Gascoigne aus Middleton in Irland, der in der Schlacht bei Marstonmoor getödtet wurde, und für Dr. Hooke in Anspruch genommen.

12. S. 120. Wirkliche Messungen über die Dauer des Zurückbleibens der durch Reize auf der Netzhaut hervorgerufenen Empfindungen scheinen nach d'Arcy's Beobachtungen (Memoiren der pariser Akademie, 1765) nur neuerdings von Plateau wiederholt worden zu sein. D'Arcy's Maschine bestand aus einem Kreuze, dessen Umdrehungsgeschwindigkeit bei der Rotation um eine Axe beliebig verändert werden konnte; auf dem Kreuze war eine glühende Kohle befestigt, die man aus der Ferne in einem finstern Zimmer beobachtete. Ueber Plateau's Versuche siehe Radicke's Optik II., S. 256.

13. S. 120. Mémoires de l'Acad. de Paris. 1694. Nach Lahire beruht alle Verschiedenheit der Farbe allein auf der verschieden starken Einwirkung des Lichts auf den Sehnerv. Vergl. auch Prieſtley, S. 119.

14. S. 121. „Die Wirkung der vermehrten Empfindlichkeit des Auges war oft so groß, daß ich, wenn sich ein Stern dritter Größe dem Gesichtsfelde näherte, das Auge vor seinem Eintritte zurückziehen mußte, um nicht die Reizbarkeit desselben

zu schwächen. Einer der zweiten oder dritten Größe pflegte das Auge so zu stören, daß ich fast ebensoviel Zeit, als wenn ich vom Lichte kam, nämlich 20 Minuten brauchte, um es wieder ganz in die ruhige Lage zu versetzen, in der es allein geschickt war, sehr feine Objecte im Teleskope wahrzunehmen." Bode's Jahrbuch, 1804. S. 233, nach Herschel's Abhandlung On the Power of penetrating into Space by Telescopes vom Jahre 1799.

15. S. 121. Etwas verschieden hiervon steht in Herschel's Abhandlung On the Discovery of four additional Satellites of the Georgium Sidus etc. (Philos. Trans. 1797): Der erste wurde gemeinlich in einem Abstande vom Uranus von 18" unsichtbar und der zweite bei einem Abstande von 20". Vergl. auch Bode's Jahrbuch 1801, S. 234.

16. S. 122. Dies erste Buch fehlt auch in der zu Paris aufgefundenen Uebersetzung aus dem Arabischen, ebenso wie in einer zweiten, später daselbst aufgefundenen. Die citirte Stelle findet sich in der kleinen Schrift des Heliodor κεφάλεια τῶν ὀπτικῶν.

17. S. 122. Lambert nimmt als Schranke des deutlichen Sehens gleichfalls einen Winkel von 90° an. Freie Perspective 1774, I. S. 30.

18. S. 129. Auch Lord Rosse und der Astronom zu Starfield, Herr Lassell, haben bei Aufstellung ihrer großen und schweren Spiegel mit sehr mannigfaltigen Schwierigkeiten zu kämpfen gehabt, indem die Spiegel lange Zeit, je nach der Art des Aufliegens in ihren Lagern und je nach der Höhe, auf welche die Teleskope gerichtet wurden, stets verschieden entstellte und verzerrte Bilder gaben. Erst durch Anwendung sehr sinnreich erdachter, complicirter Vorrichtungen konnten diese Hindernisse besiegt werden, die mit der Größe und wachsenden Schwere der Spiegel stark zunehmen. Nachrichten über diese Verzerrungen und die dagegen angewandten Einrichtungen findet man in den Monthly Notices of the R. Astr. Soc. Vol. X. S. 20 und am Schlusse von Lassel's Abhandlung Description of a Machine etc. (Memoirs of the R. Astr. S. Vol. XVIII).

Viertes Buch.

Zur Geschichte der astronomischen Instrumente.

Erstes Kapitel.

Geschichte der Spiegelteleskope.

Einige Geschichtschreiber haben berichtet, Ptolemäus Euergetes habe oben auf dem Leuchtthurme zu Alexandrien ein Instrument aufstellen lassen, mit dem man in großer Entfernung schon die Schiffe erkennen konnte. Abgesehen von den Uebertreibungen, die in diesen Erzählungen in Betreff der Entfernung vorkommen, hat man beweisen wollen, das fragliche Instrument sei nichts anders als ein Hohlspiegel gewesen[1]).

Der Pater Abat hat nachgewiesen, was viele seiner Vorgänger schon gethan hatten, daß man die Bilder, die im Brennpunkte eines reflectirenden Hohlspiegels zu Stande kommen, mit bloßem Auge betrachten kann, und daß diese Bilder äußerst hell sind[2]).

Bei diesen Versuchen des Pater Abat, und bei allen ähnlichen, hat man das Spiegelteleskop in seiner möglichst einfachen Gestalt, d. h. das Spiegelteleskop ohne die Ocularlinse. So muß auch der auf dem Leuchtthurme zu Alexandrien ausgeführte Apparat beschaffen gewesen sein, wenn es überhaupt wahr ist, daß man sich daselbst eines Spiegels bedient hat, um entfernte Gegenstände zu erkennen.

Hieraus sieht man, von welchem Gesichtspunkte aus enthusiastische Verehrer des Alterthums behaupten könnten, die Erfindung des

Spiegelteleskops, wenigstens was die Beobachtung irdischer Gegenstände betrifft, sei eine äußerst alte. Es ist übrigens ausgemacht, daß bei den Römern die Eigenschaft der Hohlspiegel vollkommen bekannt war, derzufolge sie im Brennpunkte Bilder erzeugen, die sich durch Größe und Helligkeit auszeichnen. Ich könnte dies durch verschiedene, den Quaest. natur. des Seneca entlehnte Stellen belegen, hielte mich nicht ein Gefühl der Schicklichkeit ab dasjenige anzuführen, was der römische Philosoph in dieser Beziehung mittheilt[3]).

Bei verschiedenen Autoren wird erzählt, daß Archimedes bei der Belagerung von Syrakus die Flotte des Marcellus mittelst der Sonnenstrahlen verbrannt habe, und daß Proclus im 5. Jahrhundert, bei der Belagerung von Konstantinopel, sich eines ähnlichen Mittels bediente, um die feindliche Flotte zu verbrennen. Aus diesen Thatsachen, wahr oder erdichtet wie sie sind, hat man die Folgerung gezogen, daß die Kunst Spiegel zu verfertigen bei den Alten viel weiter ausgebildet gewesen sei, als es den Neueren je damit gelungen ist. Dies ist aber eine kühne Behauptung; die beiden von den Geschichtschreibern erwähnten Feuersbrünste sind vielleicht dadurch herbeigeführt worden, daß man in einen einzigen Brennpunkt die Sonnenstrahlen sammelte, die von einer Reihenfolge von Spiegeln reflectirt wurden, infolge einer Aufstellung derselben, von der schon oben im 3. Kapitel die Rede gewesen ist (S. 66)[4]). Den Beweis für diese Möglichkeit hat zuerst der Pater Kircher[5]) geliefert, später Hartsoeker[6]) und endlich besonders Buffon. Es ist bekannt, daß der Brennspiegel dieses berühmten Naturforschers aus 168 belegten Spiegeln bestand, jeder 16 Centimeter breit bei 22 Centimeter Länge ($6^1/_{10}$ und $8^4/_{10}$ Zoll rhein.); die Entfernung je zweier Spiegel betrug etwa 9 Millimeter ($4^1/_{10}$ Linie). Jeder dieser Spiegel konnte für sich allein in allen Richtungen gedreht werden.

Am 10. April 1747 entzündete Buffon fast augenblicklich ein getheertes Tannenbret in der Entfernung von 49 Metern (156 Fuß) und zwar nur mittelst 148 Spiegeln. Die entzündete Stelle hatte 41 Centimeter ($1^1/_3$ Fuß) im Durchmesser.

An demselben Tage zündeten 148 Spiegel ein theilweise getheertes Buchenbret gleichfalls in 49 Meter Entfernung[7]).

Die beiden fraglichen Feuersbrünſte haben alſo wohl ohne Hülfe von Hohlſpiegeln entſtehen können.

Es ſcheint daß ein italieniſcher Jeſuit, Pater Zucchi, zuerſt eine Ocularlinſe zur Beobachtung des durch Reflexion von einem Hohlſpiegel erzeugten Bildes anwandte. In ſeinem Buche Optica philosophia, welches zu Lyon im Jahre 1652 erſchien, und das von Fontenelle und von Pater Abat angeführt wird, ſagt Pater Zucchi: „daß er im Jahre 1616 auf den Gedanken gekommen ſei, metallene Hohlſpiegel ſtatt der gläſernen Objective anzuwenden, um durch Reflexion dieſelben Wirkungen wie durch Brechung zu erhalten. Einſt habe er durch ein Concavglas das Bild im Brennpunkte eines Spiegels betrachtet, der ihm zufällig unter die Hand gekommen war, und habe dabei erkannt, daß er ein Inſtrument zuſammengeſetzt hätte, mit welchem man Gegenſtände auf der Erde und am Himmel ebenſo betrachten kann, wie mit den ſieben Jahre früher erfundenen Fernröhren“ [8]).

Datirt die erſte Ausgabe von Pater Zucchi's Werke aus dem Jahre 1652, ſo muß man nach Grundſätzen, die bei Erfindungen unbeſtreitbar gelten, in daſſelbe Jahr 1652, nicht aber ins Jahr 1616, die Erfindung des Spiegelteleſkops ſetzen.

Der Verfaſſer ſpricht übrigens weder von einem kleinen Spiegel, der das Focalbild ſeitwärts zu werfen beſtimmt iſt, noch von einer in der Mitte des großen Spiegels angebrachten Oeffnung, wie ſie Gregory anbrachte, und es iſt alſo ſicher anzunehmen, daß der Kopf des Beobachters einen großen Theil derjenigen Strahlen auffing, welche andernfalls das Focalbild gebildet hätten; oder man muß die Vorausſetzung machen, daß die Spiegelaxe einen merklichen Winkel mit der vom Objecte nach dem Spiegelmittelpunkte gezogenen Linie machte, eine Einrichtung, welche indeſſen nur bei ſehr großen Teleſkopen zuläſſig iſt, und die jedesmal die Deutlichkeit des Bildes merklich beeinträchtigt.

Die von Gregory und von Newton angenommenen Einrichtungen ſind alſo dieſen beiden Phyſikern, nicht aber dem Pater Zucchi eigenthümlich.

Das Gregory'ſche Teleſkop (Fig. 81, S. 126) wurde zuerſt im Jahre 1663 beſchrieben, vielleicht auch ausgeführt [9]).

Schon im Jahre 1639 hatte Merſenne in einem Briefe an Des-

cartes von einem Spiegelteleskope gesprochen, da aber dieser Brief erst im Jahre 1666 gedruckt worden ist, so bleibt Gregory unbestreitbar die Priorität [10]).

Im Jahre 1672, beschenkte Newton an dem Tage wo er zum Mitgliede der Royal Society gewählt wurde, diese berühmte Körperschaft mit einem eigenhändig ausgeführten Spiegelteleskope (Fig. 79, S. 124). Bei der Prüfung bemerkte man mit Befriedigung, daß dies neue Instrument an Deutlichkeit und Vergrößerung gleichgroße dioptrische Fernröhre beträchtlich übertraf [11]).

In der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts entwickelte Short als Künstler eine große Geschicklichkeit; seine Instrumente verbreiteten sich damals über alle europäischen Sternwarten [12]).

Cassegrain, ein französischer Künstler, brachte im Jahre 1672 eine Abänderung an dem von Gregory vorgeschlagenen Teleskop an [13]); an die Stelle des kleinen Hohlspiegels jenes schottischen Gelehrten setzte er einen Converspiegel, welcher folglich dem großen Spiegel näher stehen mußte, als der Hauptbrennpunkt desselben; durch diesen Kunstgriff wurde das Fernrohr etwas verkürzt. Seitdem hat man gefunden, daß das Cassegrain'sche Spiegelteleskop unter anderweit gleichen Umständen hellere Bilder gibt als das Gregory'sche, und hat diesen Vorzug durch den Umstand erklärt, daß die Strahlen schon auf den kleinen Converspiegel zurückgeworfen werden, bevor sie sich durchkreuzt haben; man nimmt nämlich an, daß beim Durchkreuzen selbst ein Theil der Strahlen vernichtet wird.

Allgemein bekannt und verbreitet werden aber die Spiegelteleskope besonders seit den Arbeiten William Herschel's.

Bevor Herschel directe und zuverlässige Mittel aufgefunden hatte, um den Spiegeln die Kegelschnittgestalt zu geben, mit welcher die Abweichung wegen Kugelgestalt verschwinden mußte, war er, so gut wie alle Optiker vor ihm, genöthigt durch unsicheres Versuchen sein Ziel zu erreichen; nur richtete er diese Versuche so ein, daß bei dem angewandten Verfahren niemals ein Rückwärtsgehen eintreten konnte.

Von der Art, wie er arbeitete, konnte niemals das bekannte Sprüchwort gelten: le mieux est l'ennemi du bien. Unternahm Herschel den Bau eines Spiegelteleskops, so goß und bearbeitete er zugleich

mehrere Spiegel, zehn zum Beiſpiel; von dieſen wurde derjenige Spiegel, dem unter günſtigen Umſtänden angeſtellte Himmelsbeobachtungen die erſte Stelle zuwieſen, bei Seite gelegt, und die Bearbeitung der neun andern fortgeſetzt. Gelangte einer unter den letzteren zu einer merklich größern Vollendung als der bei Seite gelegte, ſo trat der neue ſolange an ſeine Stelle, bis auch dieſer ſeinerſeits wieder übertroffen wurde u. ſ. f.

Es iſt von Intereſſe zu hören, in wie großem Maaßſtabe Herſchel ſeine Arbeiten trieb, ſelbſt ſchon zu der Zeit, wo er in Bath nur ein einfacher Liebhaber der Aſtronomie war. Er verfertigte zweihundert Newton'ſche Spiegel von 7 engl. Fuß Brennweite, gegen 150 Spiegel von 10 Fuß, und etwa 80 Spiegel von 20 Fuß.

Während ſeines Aufenthalts zu Slough gelang es Herſchel, wie es ſcheint nach unzähligen Verſuchen, durch directe und ſichere Verfahren die ſyſtematiſche Routine zu erſetzen, von der oben die Rede geweſen. Dieſe Verfahrungsweiſen ſind dem Publikum noch gegenwärtig unbekannt; aber über ihre Wirkſamkeit kann kein Zweifel ſein nach dem, was unterm 5. Juli 1839 Sir John Herſchel mir geſchrieben hat: „Indem ich die von meinem Vater nachgelaſſenen Vorſchriften Punkt für Punkt befolgte, und unter Anwendung ſeiner Apparate, iſt es mir gelungen in einem einzigen Tage, und zwar ohne Jemandes Beihülfe, mit vollſtändigem Erfolge drei Newton'ſche Spiegel zu poliren, von nahe 19 engl. Zollen Oeffnung."

Das größte Teleſkop, das der ältere Herſchel jemals ausgeführt und deſſen er ſich zu wiſſenſchaftlich nützlichen Beobachtungen bedient hat, beſaß eine Länge von 39 Fuß 4 Zoll engliſch, und hatte 4 Fuß 10 Zoll im Durchmeſſer. An dieſem Teleſkope beobachtete man gewöhnlich ohne die zweiten Spiegel, die Newton und Gregory angebracht haben; Herſchel hatte nämlich den großen Spiegel nicht mathematiſch genau nach der ihn enthaltenden Röhre centrirt, ſondern denſelben ein wenig ſchief geſtellt[14]) (Fig. 83 und 84, S. 138, 139).

Dieſe geringe Neigung verurſachte, daß die Bilder nicht mehr in der Are des Rohrs erzeugt wurden, ſondern ſehr nahe beim äußern Umfange deſſelben, in der Nähe der obern Oeffnung. Der Beobachter konnte alſo dieſe Bilder dort direct mittelſt eines Oculars beobachten,

und wenn auch ein kleiner Theil vom Kopfe des Beobachters allerdings über den Rand des Rohrs hervorragte, und auf dieſe Weiſe wie ein Schirm einige einfallende Strahlen zurückhielt, ſo beträgt doch dieſer Verluſt in einem großen Fernrohre bei Weitem nicht die Hälfte, was bei Anwendung des kleinen Spiegels als unfehlbare Wirkung eintritt.

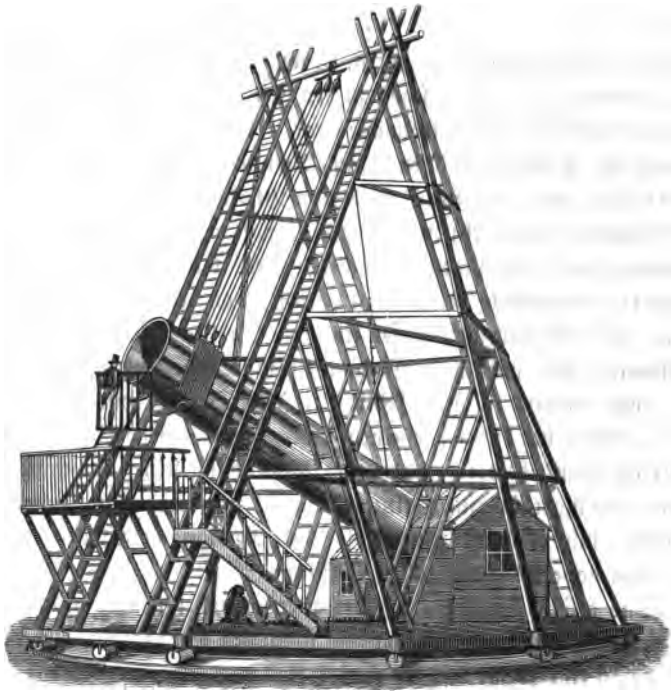


Fig. 83. — Anſicht des Herſchel'ſchen Teleſkops.

Derartige Fernröhre, in welche der am vordern Ende des Rohrs befindliche Beobachter in der Richtung auf den Spiegel, den Gegenſtänden den Rücken zuwendend, direct hineinſieht, nannte Herſchel front-view teleskopes (Teleſkope mit Vornſicht, à vue de front). Es iſt dies nichts anders als die vom Pater Zucchi in der angeführten Schrift vorgeſchlagene Weiſe, man kann aber bezweifeln, daß der

Jeſuiten-Pater ſie jemals ſelbſt angewandt habe; denn der front view kann mit Nutzen nur bei großen Spiegeln gebraucht werden.

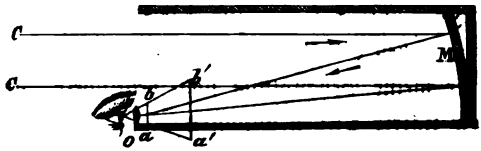


Fig. 84. — Durchſchnitt des Herſchel'ſchen Teleſkops*).

Lord Roſſe hat in dem ſchönen Inſtrumente, mit dem er die Aſtronomie beſchenkt hat, die Dimenſionen weit überſchritten, bei denen Herſchel, trotz aller ſeiner Kühnheit, ſtehen geblieben war. Das neue Inſtrument hat eine Länge von 55 engl. Fuß und 6 engl. Fuß im Durchmeſſer; ſein Spiegel wiegt $3^3/_4$ Tonnen oder etwa 7600 Pfund; das Rohr wiegt $6^1/_2$ Tonnen oder 13200 Pfund, und das Geſammtgewicht des Inſtruments beträgt alſo nahe an 200 Centner [15]).

Der Spiegel den Lord Roſſe ſelbſt nach einem von ihm erfundenen Verfahren bearbeitet hat, iſt von ſphäriſcher Abweichung faſt ganz frei. Die Rechnung hat gezeigt, daß es zur Erreichung dieſes Reſultats erforderlich geweſen den Spiegel ſo zu bearbeiten, daß er an den Rändern von der vollkommenen Kugelgeſtalt um $^1/_{400}$ Millimeter abwich.

Zweites Kapitel.

Glas war ſchon bei den Alten bekannt.

Es gibt einige Gelehrte, welche den Alten die Kenntniß der Vergrößerungslinſen und folglich mit noch größerem Rechte die Kenntniß der Fernröhre abſprechen müſſen, weil ihrer Meinung nach die Griechen und Römer nur ſehr unvollkommene Kenntniß von der Glasberei-

*) Der am Boden des Rohrs befindliche Hohlſpiegel M bringt am andern Ende C, und zwar nach der Seite zu, ein Bild ab zu Stande, welches vom Oculare O zu a'b' vergrößert wird.

tung hatten. Diese Meinung müssen wir sogleich als offenbar irrig bezeichnen.

Ich will mich hier nicht auf eine Stelle beim Aristophanes berufen, aus der hervorgeht, daß man zur Zeit dieses Lustspieldichters bei den Krämern zu Athen Glaskugeln verkaufte (siehe das folg. Kap.), sondern will für meine Behauptung noch deutlichere, und wenn es möglich ist, noch klarere Stellen anführen.

Vom Plinius erfahren wir, daß das ungeheure Theater zu Rom, welches Scaurus, Sulla's Schwiegersohn, erbaut hatte (es konnte 80000 Zuschauer fassen), drei Stockwerke besaß, und daß das zweite dieser Stockwerke durchaus mit Glasmosaik bekleidet war[16]).

Im zweiten Buche der Recognitiones des heiligen Clemens liest man, daß der heilige Petrus auf der Insel Aradus einen Tempel sah, dessen außerordentlich große und starke Säulen aus Glas seine Bewunderung in noch höherem Grade erregten, als die schönen Statuen des Phidias, die diesen Tempel schmückten[17]).

Seneca spricht in seinen Quaest. natur. von den farbigen Erscheinungen, die man beim Durchsehen durch gläserne Ecken erblickt[18]).

Unter Nero's Regierung benutzte man bei den Gastmälern, wie Plinius bezeugt, Vasen und Becher von weißem Glase, die an Durchsichtigkeit Becher von Bergkrystall übertrafen.

Zu derselben Zeit stellte man die Sternbilder häufig auf Glaskugeln dar[19]).

Endlich sind wenig alte Grabmäler geöffnet worden, in denen man nicht sogenannte Thränengefäße gefunden hätte.

Ptolemäus gibt in seiner Optik eine Tafel der Brechung, die das Licht unter verschiedenen Einfallswinkeln beim Uebergange aus Luft in Glas erleidet[20]). Diese Winkel sind sehr wenig von denjenigen verschieden, die man bei Versuchen mit unserm Spiegelglase findet, und beweisen, daß das Glas der Alten sich wenig von dem unsrigen unterschied.

Drittes Kapitel.

Die Alten kannten die erwärmenden Eigenſchaften, welche die Brennpunkte der Vergrößerungsgläſer beſitzen.

Aus einem Scherzworte des Ariſtophanes (431 bis 404 vor Chr.) erfährt man, daß den Alten wohl bekannt geweſen iſt, wie ſich das Sonnenlicht hinter einer Glaskugel verdichtet, und dort brennbare Stoffe entzündet. Im Luſtſpiele die Wolken ſetzt Strepſiades dem Sokrates auseinander, wie er ſich in Zukunft vermittelſt Glaskugeln der Bezahlung ſeiner Schulden überheben kann; denn, ſagt er, „damit kann man aus der Ferne jede Art von Schuldſchein in den Händen der Gläubiger verbrennen, ohne daß dieſe es gewahr werden könnten [21]).“

Auch den Römern waren die Eigenſchaften der Glaskugeln bekannt; in Ermangelung des Höllenſteins wandten ſie ſolche Kugeln bei Sonnenſcheine an, um kranke Fleiſchtheile auszubrennen. Ebenſo bedienten ſie ſich der den Sonnenſtrahlen entlehnten, verdichteten Wärme, um das Tempelfeuer anzuzünden, wenn es aus Nachläſſigkeit der Veſtalinnen verlöſcht war [22]).

Viertes Kapitel.

Haben die Alten die Vergrößerungskraft convexgekrümmter Gläſer gekannt?

Die in der Ueberſchrift dieſes Kapitels aufgeſtellte Frage läßt ſich auf zwei verſchiedene Weiſen betrachten und beantworten. Zuerſt wollen wir unterſuchen, ob es unter den uns überlieferten Induſtrie- und Kunſtproducten der Alten Stücke gibt, die nur mit Hülfe von Vergrößerungsgläſern ausgeführt ſein können. Einige Stellen aus authentiſchen Quellen ſollen uns dann zur Controle der Ergebniſſe dieſer erſten Unterſuchung dienen.

Im pariſer Medaillenkabinet befindet ſich ein Siegel, das man Michel-Angelo's nennt, uud deſſen Verfertigung angeblich in eine ſehr alte Zeit fällt. Auf demſelben ſind in einem kreisrunden Raume von 14

Millimetern ($6^4/_{10}$ Linien rhein.) funfzehn Figuren gravirt, die man nicht alle mit bloßem Auge erkennt. (Dutens, 2. Ausg. 2. Bd. S. 224.)

„Cicero hat einer Iliade des Homer erwähnt[23]), die auf Pergament geschrieben war, das in eine Nußschale ging." (Plinii hist. natur. VII. c. 21.)

Plinius erzählt ferner, daß der Milesier „Mirmecides aus Elfenbein ein Viergespann fertigte, welches eine Fliege mit ihren Flügeln bedeckte"[24]). (Histor. natur. VII, c. 21. Man vergleiche Aeliani historia I, c. 17.)

Wenn man nun nicht behaupten will, daß der Gesichtssinn bei unsern Vorfahren viel vollkommener gewesen sei, als bei den geübtesten Künstlern der neueren Zeit (eine Behauptung, die durch zahlreiche astronomische Beobachtungen widerlegt werden würde), so geht aus diesen Thatsachen hervor, daß man in Griechenland und Rom schon vor zwanzig Jahrhunderten die Eigenschaft der Loupen, Gegenstände zu vergrößern, gekannt habe. Wir können übrigens einen Schritt weiter thun und dem Seneca eine Stelle entlehnen, aus welcher dieselbe Wahrheit noch unmittelbarer und entscheidender hervorgeht.

Im 6. Kapitel des ersten Buchs seiner Quaest. natur. liest man Folgendes[25]): „Wie klein und undeutlich eine Schrift immerhin sein mag, durch eine mit Wasser gefüllte Glaskugel erscheint sie größer und deutlicher."

Dutens hat im Museum zu Portici Loupen aus dem Alterthume gesehen von nur 9 Millimeter ($4^1/_{10}$ Linien) Brennweite, und besaß selbst eine dieser Loupen, die von den Ausgrabungen zu Herculanum herrührte, aber von größerer Brennweite war. (Dutens, 2. Ausg. 2. Bd. S. 224.)

Genauer würde Dutens sich ausgedrückt haben, wenn er sagte: Ich habe im Museum zu Portici kleine Glaskugeln gesehen; denn mit dem Worte Loupe verbindet man den Begriff optischer Zwecke, während die kleinen Kugeln zu Pompeji und Herculanum nur dazu bestimmt waren, im Schmucke der weniger reichen Frauen die Edelsteine zu ersetzen. Die Bemerkung und der Fund von Dutens erhalten nur dann wirklichen Werth, wenn man sie mit der Stelle beim Seneca zu-

ſammenhält. Man darf annehmen, daß wenn dieſer Philoſoph ausſchließlich von der Wirkung der Waſſerkugeln redet, er damit Einwürfen begegnete, die man gegen ſeine Theorie des Regenbogens vorgebracht hatte.

In der Verſammlung der British Association zu Bedford, im Jahre 1852, hat Sir David Brewſter ein Stück Bergkryſtall vorgezeigt, das in Geſtalt einer Linſe geſchnitten war, und das man neuerdings bei den Ausgrabungen zu Ninive gefunden hatte[26]). Sir David der in dieſen Dingen ſo competent iſt, hat die Behauptung aufgeſtellt, dieſe Linſe habe zu optiſchen Zwecken, niemals zum bloßen Schmucke gedient.

Fünftes Kapitel.

Aus welcher Zeit ſchreibt ſich die Erfindung der Brillengläſer her, d. h. jener kleinen, wenig gekrümmten Linſen, durch welche Weit- und Kurzſichtige beſſer ſehen?

Plinius erzählt von hohlgeſchliffenen Smaragden, durch welche man, wie er ſagt, beſſer als mit bloßen Augen ſieht; eines ſolchen bediente ſich z. B. Nero beim Anſehen der Gladiatorenkämpfe. Es kann dies nichts Anderes geweſen ſein, als eine Art von Brille, wie ſie heutzutage Kurzſichtige tragen; nur ſcheint es, als hätten die Alten der beſondern Natur dieſes Steins eine Eigenſchaft zugeſchrieben, die er nur ſeiner Geſtalt verdankte, und die ein gewöhnliches Glas von gleicher Krümmung in demſelben Maaße beſeſſen hätte; würden ſie ſonſt wohl jemals daran gedacht haben, den Graveuren die Anbringung ihrer Arbeiten auf concaven Smaragden zu verbieten? Auch darin täuſcht ſich Plinius, daß er annimmt ein derartiger Smaragd wirke für jedes Auge vortheilhaft, denn gegenwärtig weiß Jedermann, daß ein Weitſichtiger, um in der Nähe deutlich zu ſehen, nothwendig durch convere Flächen ſehen muß. Den Alten kann man alſo die Erfindung der Brillengläſer unter keinen Umſtänden zuſchreiben. Einige italieniſche Schriftſteller ſetzen die Erfindung der Brillen in das Jahr 1280, und ſchreiben ſie einem florentiner Bankier Namens Salvino degli Armati zu. Sie

stützen sich dabei auf eine Inschrift, die sich auf dem Grabe dieses im Jahre 1317 verstorbenen Mannes befand[27]); aber in den Augen der Gelehrten kann eine Inschrift nur von geringem Werthe sein, die aus der Dankbarkeit einer Familie, oder vielleicht aus einem Einfalle eines Inschriftenschneiders hervorgegangen ist.

Die Inschrift selbst ist übrigens zerstört und gar nicht mehr erhalten. Aus sogleich anzuführenden Stellen in gedruckten Büchern ist erwiesen, daß man im Jahre 1305 die Brillengläser kannte; auch scheint ausgemacht, daß sie in Italien erfunden wurden.

Gordon, ein Professor der Medicin zu Montpellier, sagte in einer 1305 veröffentlichten Schrift: „Diese Salbe wirkt so trefflich, daß sie es einem Greise möglich macht, die feinsten Buchstaben ohne Brille zu lesen." (Ameilhon, im 42. Bande der Memoiren der Akademie der Inschriften.)[28])

Ameilhon führt ferner an, daß Guido de Chauliac[29]) im Jahre 1363 in seiner „großen Wundarzneikunst" Vorschriften für das Auge angibt und hinzufügt: „Wenn diese Salben nicht helfen, so muß man seine Zuflucht zu Brillengläsern nehmen."

Mit der Erfindung der Brillen sind wir seit unserer Kindheit vertraut und genießen die Vortheile derselben, ohne darüber nachzudenken; aber vielleicht verdient diese Erfindung die erste Stelle unter den mannigfaltigen Hülfsmitteln, welche menschlicher Kunstfleiß ersonnen hat, um die zahllosen und von unserer Natur, wie es scheint, unzertrennlichen Schwächen zu bekämpfen. Mancher denkt vielleicht mehr an die Einfachheit des Apparats als an seinen Nutzen, und findet in meinen Worten einige Uebertreibung; aber ich möchte ihn bitten, nicht zu urtheilen, bevor er sich in dem engen Kreise seiner genauen Bekanntschaft umgesehen und überlegt hat, welcher Zustand sogleich mit dem Verluste dieser Erfindung eintreten müßte. Ein Jeder wird z. B. bald einem in so hohem Grade kurzsichtigen Individuum begegnen, daß es die Gegenstände nicht mehr erkennt, sobald sie zwei Zoll entfernt sind. Vielleicht hat die Natur diesen Kurzsichtigen zum Heerführer geschaffen, oder ihn dazu bestimmt, Geschwader zu leiten und auf den Fußtapfen der Bougainville und Cook die Erforschung des Erdballs zu vervollständigen. Aber zu all diesen Zwecken muß er in große Entfernungen

ſehen; auf den erſten Blick muß er die Beſchaffenheit des Terrains erkennen, die Stellung und Stärke des Feindes beurtheilen, und letzteren beſonders nicht mit ſeinen eigenen Leuten verwechſeln: ein Kurzſichtiger kann unmöglich Befehlshaber ſein. Begleiten wir ihn in das gewöhnliche Leben: ihm gereicht ein Spaziergang nur zur Qual; man ſehe nur wie ſchwankend ſein Gang iſt, wie ungeſchickt er an tauſend Hinderniſſe ſtößt, und wie nutzlos für ihn die vielfachen Nachweiſungen ſind, die eine vorſichtige Verwaltung den Bürgern an den Weg geſetzt hat. In ſeinen Augen hat Alles unbeſtimmte Umriſſe; die ſchönſte Landſchaft erſcheint ihm als eine mehr oder weniger glänzende Lichtmaſſe; Alles läuft in eine und dieſelbe Ebene durcheinander, und er erkennt weder Wohnungen noch Berge und Bäume. Man hüte ſich ihm von Malerei zu erzählen, denn er kann ſich keine Vorſtellung davon machen; ein Raphael'ſches Gemälde iſt in ſeinen Augen nur eine regelloſe Anhäufung verſchiedener Farben. Er rennt an einen Freund an ohne ihn zu erkennen, und in den Geſichtszügen ſeiner Verwandten hat er niemals die Traurigkeit geleſen, die nach Troſt verlangt, noch die Freude erblickt, die ſeine Gegenwart erregt; wenn Frau und Kinder nicht zu ihm reden, erkennt er ſie kaum.

Gehen wir an die andere Grenze der Stufenleiter und betrachten wir ein Individuum, deſſen allzu flaches Auge nur in die Ferne zu ſehen verſtattet; es iſt von andern, aber gleichfalls peinigenden Verlegenheiten umgeben. Man nehme nur dem Weitſichtigen die gewohnte Brille, und von keinem Buche unſerer Bibliotheken kann er ferner Gebrauch machen; er iſt gänzlich dem Willen ſeiner Umgebung, ſeiner Diener und fremder Menſchen überlaſſen. Will man etwa behaupten, er ſei weniger zu beklagen als der Kurzſichtige, wenn man nur daran denkt, daß ein abweſender Freund ihm niemals ein Geheimniß anvertrauen wird, weil er wohl eingedenk iſt, daß ein Dritter, ein Gleichgültiger, vielleicht gar ein Feind der erſte Bewahrer deſſelben ſein müßte?

Sechstes Kapitel.

Ob die Fernröhre den Alten bekannt waren?

Es ist behauptet worden, die Alten hätten von der Einrichtung des Weltalls gewisse Kenntnisse besessen, deren Richtigkeit die neuere Zeit nur mittelst der Fernröhre hat nachweisen können. Wie wären sie ohne solche Instrumente zum Besitze dieser Kenntnisse gekommen?

Demokrit war der Meinung, daß die Milchstraße aus einer unermeßlichen Menge von Sternen bestehe, und daß in der Vermischung des Lichtes derselben die wahre und einzige Ursache des nahe kreisförmigen, weißlichen Streifens zu suchen sei, der den gebildeten und den ungebildeten Völkern zu so seltsamen Annahmen Veranlassung gegeben hat [30]).

Wir wissen heutzutage, daß diese Erklärung großentheils richtig ist, aber man sieht nicht, weshalb Demokrit nicht durch Vermuthung auf diese Erklärung geführt werden konnte, ohne dazu irgend einer directen Beobachtung zu bedürfen.

Derselbe Philosoph pflegte auch zu sagen: „Die Flecken im Monde sind die von sehr hohen Bergen geworfenen Schatten." Hierbei könnte man umsoweniger an Beobachtungen denken, die Demokrit etwa angestellt hätte, als die eigentlichen Flecken, diejenigen die man mit bloßem Auge sieht, keineswegs Bergschatten sind; das zeigt schon ein ganz schwaches Fernrohr sehr deutlich.

Im Strabo findet sich eine Stelle, die den blinden Bewunderern des Alterthums den stärksten Beweis liefert, auf den gestützt sie behaupten, daß die Erfindung der Fernröhre nicht den Neueren zukomme. Der berühmte Geograph stellt nämlich die Frage auf, weshalb die Sonne beim Aufgange und beim Untergange größer erscheint, und gibt Folgendes zur Antwort: „Es rührt diese Erscheinung von den Dünsten her, die aus den Wassern des Meeres aufsteigen, und durch welche die Sehstrahlen so gebrochen werden, als wenn sie durch Röhren gingen."

Aber nach der einstimmigen Ansicht der berühmten Helleniſten, Vossius, Coray, Hase u. A., ist diese Stelle durch die Abschreiber ver-

derbt. Coray und La Porte du Theil haben dieſe Stelle berichtigt, und geben davon die folgende Ueberſetzung, in welcher ſich keine Spur von Fernröhren, von Röhren mehr vorfindet:

„Was den Umſtand betrifft, daß die Sonne auf der See beim Untergange und beim Aufgange größer erſcheint, ſo rührt dies von der größern Dunſtmenge her, die aus dem Meerwaſſer aufſteigt; da die Dünſte nämlich durchſichtig ſind, ſo laſſen ſie die Sehſtrahlen durchgehen, die uns durch ihre Brechung die Gegenſtände größer erſcheinen laſſen, als ſie in der That ſind. Daſſelbe tritt ein, wenn Sonne oder Mond beim Aufgange oder beim Untergange unſerm Auge durch eine trockene, leichte Wolke erſcheinen; dieſe Geſtirne haben dann, abgeſehen von der ſcheinbaren Volumvergrößerung, ein röthliches Anſehen. (Strabo, 1. Theil, 3. Buch, nach S. 387 und 388 der franzöſiſchen Ueberſetzung von Coray und La Porte du Theil.)

Ariſtoteles ſpricht auch von Röhren, durch welche die Alten entfernte Gegenſtände betrachteten; aber er vergleicht ihre Wirkung mit der einer über die Augen gehaltenen Hand, oder mit der Wirkung eines Brunnens, aus deſſen Tiefe man die Sterne am hellen Tage ſehen kann[31]). (Im 5. Buche de Generat. Animal., nach dem Citat Ameilhon's im 42. Bande der Memoiren der Akademie der Inſchriften, S. 497.)

Diejenigen Gelehrten, welche für das Alterthum alle Beobachtungsmethoden in Anſpruch nehmen, deren man ſich in neueren Zeiten bedient, haben auch auf eine gewiſſe Zeichnung in einer alten Handſchrift aufmerkſam gemacht, die den Ptolemäus darſtellt, wie er die Sterne mit einem angeblichen Fernrohre beobachtet. Aber aus dieſer Zeichnung, die Mabillon zuerſt beſprochen hat, und die der Mönch Conrad im Jahre 1212 ausgeführt hat, geht nur hervor, was ſchon aus der oben angeführten Stelle des Ariſtoteles vollkommen klar iſt, daß die Alten mitunter durch lange Röhren die Sterne beobachtet haben[32]).

Siebentes Kapitel.

Fernröhre.

Die ausführliche Geſchichte der Entdeckung der Fernröhre möchte füglicher in ein Lehrbuch der Phyſik gehören, als in der gegenwärtigen Schrift ihre Stelle finden; da indeſſen in den phyſikaliſchen Lehrbüchern die von Fernröhren handelnden Theile keine zuverläſſigen Nachrichten über den eigentlichen Erfinder dieſer wunderbaren Inſtrumente geben, ſo glaube ich, die Leſer werden es nicht ungern ſehen, wenn ich dieſe Lücke nach Documenten ergänze, die erſt vor wenigen Jahren aufgefunden und veröffentlicht worden ſind. Uebrigens wird die Bemerkung Niemandem entgehen, daß ohne das Fernrohr die neuere Aſtronomie kaum merklich von der alten verſchieden ſein würde.

Die Inſtrumente, deren ſich die Aſtronomen bedienen, verdienen nicht weniger die Aufmerkſamkeit des Publikums, als die bewundernswerthen Reſultate, die man damit erlangt hat.

In der phyſiſchen Welt tritt keine große, ungewöhnliche Erſcheinung ein ohne gewiſſe vorhergehende Anzeichen; daſſelbe gilt auch von der intellectuellen Welt. Eine jede Entdeckung iſt wie ein gewaltiger Schlag, der eine Menge kleiner Verſuche in ſich aufnimmt, eine Menge kleiner Thatſachen zuſammenfaßt, die bis dahin unklar, ohne Zuſammenhang und ohne Bedeutung daſtanden. Für die Richtigkeit dieſer Betrachtungen zeugt die Entdeckung des Fernrohrs vielleicht mehr als irgend eine andere Entdeckung.

In der Schrift des Hieronymus Fracaſtor, die den Titel Homocentrica führt, und zu Venedig 1538 erſchien, findet ſich in der 2. Sect., 8. Kapitel, eine Stelle, die in der Ueberſetzung folgendermaßen lautet[33]):

„Wenn man durch zwei aufeinander gelegte Augengläſer ſieht, ſo erſcheint Alles größer und näher.“

In der 3. Section, 23. Kapitel, lieſt man ferner:

„Man verfertigt gewiſſe Augengläſer von ſolcher Dicke (wörtlich Dichtigkeit), daß wenn man durch dieſe Gläſer den Mond oder ein anderes Geſtirn betrachtet, dieſelben nicht entfernter als Thürme zu ſein ſcheinen.“

Ob man dieſe Worte bei Fracaſtor als eine hinreichend klare und

beſtimmte Andeutung der eigentlichen Fernröhre betrachten muß, darüber zu entſcheiden mag dem Leſer überlaſſen bleiben.

Nachdem die Entdeckung des Fernrohrs bekannt geworden war, forſchte man nach, ob ſich nicht etwa ſchon bei den Schriftſtellern des 16. Jahrhunderts eine Beſchreibung dieſes Inſtruments nachweiſen ließe. Selbſt Keppler, der dem Gefühle der Eiferſucht ſo wenig zugänglich war, glaubte deutliche Spuren vom Fernrohre in des Neapolitaners Porta Magia Naturalis zu finden. Die Meinung des Nebenbuhlers von Galilei ſtützte ſich auf folgende Stelle: „Die convere Linſe zeigt die Gegenſtände größer und heller; eine Hohllinſe dagegen zeigt die entfernten Gegenſtände zwar kleiner, aber deutlicher; wenn man folglich beide miteinander verbindet, kann man ſowohl nahe als entfernte Objecte vergrößert und deutlich ſehen.“

Die Folgerung aus den Vorderſätzen iſt nicht ganz ſo ſicher, wie der Verfaſſer behaupten möchte, doch ſcheint es mir ausgemacht, daß Porta nichtsdeſtoweniger die Verbindung zweier Linſen zu einem Fernrohre angegeben hat [34]). (Venturi I., S. 84.)

Auf unvollkommene und unbeſtimmte Combinationen werden wir jetzt Inſtrumente folgen ſehen, die durch ihre ganze Anordnung und durch ihre Wirkungen keinen Zweifel mehr übrig laſſen.

In den Archiven zu Haag hat man Documente aufgefunden, aus denen van Swinden und Moll vermocht haben, Entſcheidendes über den erſten und eigentlichen Erfinder der Fernröhre feſtzuſetzen [35]).

Dieſe Documente ſagen aus, daß ein Brillenfabrikant, Namens Johann Lipperſhey zu Middelburg, aber aus Weſel gebürtig, am 2. October 1608 den Generalſtaaten ein Bittſchreiben überreichte, in welchem er um ein Patent auf dreißig Jahre anhielt, welches ihm ſowohl die alleinige Berechtigung zur Verfertigung eines neuen, von ihm erfundenen Inſtruments, als auch eine jährliche Penſion zuſichern ſollte, unter der Bedingung, dies Inſtrument nur für den Nutzen des Landes anfertigen zu wollen:

„Man kann damit in die Ferne ſehen, wie den Mitgliedern der Generalſtaaten bewieſen worden iſt.“

Am 4. October 1608 erwählten hierauf die Generalſtaaten aus jeder Provinz einen Deputirten, um das neue Inſtrument auf einem

Thurme im Pallaste des Stathuders zu prüfen. (Huygens erzählt, das neue Instrument sei anderthalb Fuß lang gewesen.)

Am 6. October gab die Commission die Erklärung, Lippershey's Instrument werde dem Lande Nutzen bringen, verlangte aber, man solle es dergestalt vervollkommnen, daß man mit beiden Augen sehen könne.

Als Lippershey angezeigt hatte, daß auch diese Aufgabe gelöst sei, beauftragte man am 9. December van Dorth, Magnus und van der Aa, die Richtigkeit der Thatsache zu prüfen. Diese Commissare erstatteten am 15. December 1608 einen günstigen Bericht: man hatte das für beide Augen eingerichtete Instrument gut befunden.

Durchliest man die Auszüge, die Moll aus den Haager Archiven gegeben hat, so ist man erfreut über die Bereitwilligkeit, mit welcher die Generalstaaten Lippershey's Fernröhre prüften; bald aber bemächtigt sich des Lesers ein Gefühl der Unlust, wenn er sieht, wie eine große Körperschaft der Nation um diese unvergleichlichen Instrumente handelt, als gelte es einige ostindische Gewürzkisten. Endlich wird man unwillig, wenn die Staaten-Commissare, eitel und eingebildet wie Schöffen in Amtstracht, den Beschluß fassen, das Fernrohr werde so lange unvollkommen sein, als man nicht mit beiden Augen hineinsehen könne, solange der Beobachter genöthigt sei, ein Auge zu schließen; wenn diese Commissare den Optiker zwingen, auf die Herstellung binocularer Fernröhre eine Zeit zu verwenden, welche er viel besser hätte zur Vervollkommnung des einfachen Fernrohrs anwenden können.

Lippershey erhielt 900 Gulden für drei seiner Doppelfernröhre; aber ein Privileg wollten ihm die Generalstaaten nicht geben, „weil es erhelle, daß schon verschiedene Andere von dieser Erfindung Kenntniß hätten."

Zu diesen Männern muß man ohne Zweifel Jakob Adrians (Metius) rechnen, den vierten Sohn des Adrian Metius, Bürgermeisters zu Alkmaar, desselben, welcher das berühmte Verhältniß des Durchmessers zum Umfange 113 : 355 gefunden hatte (s. S. 11). Jakob Metius hatte am 17. October 1608 folgendes Bittschreiben an die Generalstaaten gerichtet:

„Er sey seit zwei Jahren durch Fleiß und Nachdenken auf ein

Inſtrument gekommen, wodurch man entfernte, ſonſt gar nicht, oder ganz undeutlich zu ſehende Dinge deutlich ſehen könne. Das jetzt präſentirte ſey zwar nur aus ſchlechtem Material, bloß zur Probe verfertigt, aber es leiſte doch nach dem Urtheil Sr. Excellenz (des Stathalters), und anderer, die beide Inſtrumente verglichen haben, eben ſo viel als dasjenige, welches ein Bürger in Middelburg U. E. D. M. ganz kürzlich vorgelegt habe. Er zweifele nicht, dies Werkzeug noch ſehr vervollkommnen zu können, bitte aber um Octroi, wodurch jedem, der nicht ſchon vorher dieſe Erfindung gehabt und ins Werk geſtellt, auf die Dauer von 22 Jahren bei Strafe der Confiscation und Erlegung von 100 Carl. Gulden verboten wird, ein ſolches Inſtrument zu verkaufen oder zu kaufen, ſonſt aber ihn mit einer anſtändigen Geldſumme zu beſchenken.“ (Olbers' Ueberſetzung des holländiſchen Originals.)

Die Staaten ermahnten den Supplicanten, das Inſtrument zur Vollkommenheit zu bringen, indem ſie ſich vorbehielten, Jakob Metius vielleicht ſpäter einmal entſprechend zu belohnen.

In Italien nimmt man an, Galilei habe durch ſeine eigenen Bemühungen das holländiſche Fernrohr conſtruirt, über welches er im Anfange des Jahres 1609 nur ſehr unvollkommene Nachrichten erhalten hatte. Es fällt auf, daß Galilei in dem Schreiben, in welchem er den Leitern der Republik Venedig die Eigenſchaften der neuen Inſtrumente mittheilte, ſich anheiſchig machte, wenn man es wünſchte, deren ausſchließlich zum Nutzen der Seeleute und der Heere der Republik zu conſtruiren. Doch es war nutzlos, daraus ein Geheimniß zu machen, denn in Holland verfertigte man ſchon ſolche Inſtrumente zu mäßigen Preiſen. Uebrigens ſchweigt Galilei durchaus von den vorhergehenden holländiſchen Arbeiten, ſowohl in dem erſten Briefe, den uns Venturi aufbewahrt hat (1. Bd., S. 81), als auch in einer Verordnung des venetianiſchen Senats vom 25. Auguſt 1609*). Die Entdeckung wird als eine Folge aus den geheimen Grundlehren der Perſpective dargeſtellt.

*) Galilei's erſte Arbeiten über das Fernrohr ſchienen dem Mai 1609 anzugehören. Aus einer Stelle eines Journals von Pierre l'Eſtoile geht hervor, daß im

Aber mit Unrecht behaupten die italieniſchen Schriftſteller, daß die Lehre von der Lichtbrechung eine wichtige Rolle bei der abermaligen Entdeckung des holländiſchen Fernrohrs durch Galilei geſpielt habe. Ueber dieſen Punkt beſitzen wir entſcheidende Beweiſe, nämlich Galilei's eigene Darſtellung der Aufeinanderfolge von Schlüſſen, welche dieſen großen Mann zur Herſtellung der erſten Inſtrumente leiteten.

Huygens ſagt in ſeiner Dioptrik: „Dem, der durch bloßes Nachdenken, allein aus den Geſetzen der Natur und der Geometrie, auf die Entdeckung der Fernröhre gekommen wäre, würde ich unbedenklich „übermenſchliche Verſtandeskräfte zugeſtehen [36]).“

Wir wollen jetzt näher betrachten, ob Lipperſhey, ob Jakob Metius u. ſ. w. ſolche Männer ohne Gleichen geweſen ſind.

Hieronymus Sirturus erzählt [37]), es ſei ein Unbekannter, ein Menſch oder ein Genius, zu Lipperſhey gekommen, und habe mehrere convere und concave Gläſer beſtellt. Am feſtgeſetzten Tage holte er ſie, wählte zwei davon aus, ein concaves und ein converes, hielt ſie vors Auge, und entfernte ſie langſam von einander, ohne zu ſagen, ob er dadurch die Arbeit des Künſtlers oder irgend etwas anderes prüfen wollte; dann bezahlte er die Gläſer und entfernte ſich. Gleich darauf wiederholte Lipperſhey, was er geſehen hatte, bemerkte die durch Verbindung der beiden Linſengläſer bewirkte Vergrößerung, befeſtigte dieſelbe an den entgegengeſetzten Enden eines Rohrs, und beeilte ſich, das neue Inſtrument dem Prinzen Moritz von Naſſau vorzulegen.

Einer andern Erzählung zufolge ſpielten einſt Lipperſhey's Kinder im Laden ihres Vaters, und kamen dabei auf den Einfall, durch zwei Linſen, eine convere und eine concave zu ſehen; beide Gläſer waren in der richtigen Entfernung voneinander, und zeigten den Hahn auf dem Kirchthurme zu Middelburg vergrößert und merklich näher. Das Erſtaunen der Kinder erregte Lipperſhey's Aufmerkſamkeit; zu größerer Bequemlichkeit bei dieſem Verſuche befeſtigte er die Gläſer zunächſt auf einem Brettchen; ſpäter brachte er ſie an den Enden zweier

---

April deſſelben Jahres holländiſche Fernröhre öffentlich in Paris verkauft wurden. (Vergl. Magasin Pittoresque, Jahrgang 1853, S. 7.)

Röhre an, deren eines ſich im andern verſchieben konnte. Von dieſem Augenblicke an war das Fernrohr erfunden.

Die hauptſächlichen Documente, welche dieſem Kapitel über Lipperſhey zu Grunde liegen, ſind in Schumacher's Jahrbuch für 1843 veröffentlicht und einer Abhandlung des Dr. Olbers entlehnt.

Aus dieſem Olbers'ſchen Aufſatze habe ich hier indeſſen eine Stelle aus einem Briefe von Fuccarius an Keppler uuterdrückt, in welcher dargethan werden ſollte, Galilei habe, als er das wunderbare Inſtrument wiederfand, ſchon vorher ein holländiſches Fernrohr geſehen und in Händen gehabt.

Mir ſcheint nämlich, man dürfe nicht ohne Beweis Fuccarius' Behauptungen annehmen, welche die gerechte Bewunderung erſchüttern könnten, die man in der gelehrten Welt dem unſterblichen Galilei gezollt hat.

Zu Galilei's Zeiten behauptete man, der Papſt Leo X. habe ein Fernrohr beſeſſen [38]), mit dem er von Florenz aus die zu Fieſelo fliegenden Vögel erkennen konnte.

Aber ich ſehe nicht, welcher Schluß ſich billiger Weiſe aus einer ſolchen Thatſache gegen die Aufrichtigkeit des großen florentiner Philoſophen ziehen läßt.

Die aus Galilei's Händen hervorgegangenen Fernröhre vergrößerten die Geſtirne der Reihe nach vier, ſieben, dreißig Mal linear; über dieſe letzte Zahl iſt der berühmte Aſtronom von Florenz niemals hinausgegangen.

Von den Inſtrumenten, mit denen Huygens ſeine ſchönen Beobachtungen machte, glaube ich, daß es 12 und 13 Fuß lange Fernröhre waren, von $2^1/_3$ Zoll Oeffnung, und daß dieſelben nur 48, 50 und 92 Mal vergrößerten [39]). Auch ſpricht kein Grund dafür, daß Jean Dominique Caſſini bei ſeinen beſten Fernröhren jemals eine ſtärkere Linearvergrößerung als eine 150 malige angewandt hat. Auzout, der zugleich Aſtronom und Künſtler war, beſaß vollſtändige Kenntniß vom Zuſtande der praktiſchen Optik ſeiner Zeit (1664); er ſpricht von den vorzüglichſten Fernröhren des berühmten Campani zu Rom, die 17 Fuß lang waren und am Himmel nur eine 150 malige Vergrößerung gaben. Er führt noch ein anderes 35füßiges Fernrohr an, das aus

Rives' Werkstatt zu London hervorgegangen war, und das der König von England dem Herzoge von Orleans zum Geschenke machte; es vergrößerte 100 Mal; ferner ein 12 Fuß langes Fernrohr, dessen Vergrößerung nicht über 74 hinausging; dann ein von ihm selbst (Auzout) verfertigtes Fernrohr, 31 Fuß lang und 140 Mal vergrößernd; endlich ein gleichfalls von Auzout zu Stande gebrachtes, das bei der kolossalen Länge von 300 Fuß nicht mehr als 600 Mal vergrößerte. Es versteht sich, daß wenn die Objective von so außerordentlicher Länge waren, man sie ohne Rohr anwandte; zu diesem Zwecke erblickte man ehemals im Garten der pariser Sternwarte große Masten, sogar ein großes Holzgerüst, das man zur Herstellung der berühmten Marly'schen Maschine benutzt hatte, und an das jene kostbaren Objective befestigt werden sollten, während der Beobachter, das Ocular in der Hand, sich in der gehörigen Entfernung vom Luftbilde fortbewegen mußte. Man machte bei dieser Gelegenheit die eigenthümliche Bemerkung, daß diejenigen Strahlen, welche seitwärts den zwischen dem Objectiv und seinem Brennpunkte belegenen Raum durchfahren, in keiner Weise die Deutlichkeit des Focalbildes störten.

Ich muß hier die Bemerkung einschalten, daß die oft vorkommende Verwechselung des Mikroskops mit dem Teleskope die Geschichte der Entdeckung beider Instrumente ziemlich dunkel macht; deßhalb will ich die wesentlichen Kennzeichen, an denen man beide unterscheidet, besonders anführen. Schon die Etymologie der Worte Mikroskop und Teleskop lehrt, daß ersteres zur Untersuchung kleiner Objecte dient, letzteres zur Beobachtung weit entfernter. Ebenso ist aus der Etymologie des Wortes Teleskop klar, daß es gleichzeitig die sogenannten Spiegelteleskope bezeichnet, bei welchen die von Spiegeln reflectirten Bilder betrachtet werden, und auch diejenigen Fernröhre, welche man dioptrische Teleskope genannt hat, bei denen die Beobachtung nämlich mittelst Gläser oder Linsen geschieht. Die Spiegelteleskope hat man auch in katoptrische und in katadioptrische getheilt; die ersteren bestehen nur aus Spiegeln, letztere aus Spiegeln und Linsen. Fernröhre und Mikroskope sind wesentlich von einander durch die Stellungen der beiden Gläser verschieden, aus denen sie bestehen. Beim dioptrischen Teleskope, dem eigentlichen Fernrohre, ist das Glas mit großer

Brennweite und weiter Oeffnung dem Gegenstande zugekehrt; es ist das Objectiv des Instruments; dagegen ist das Objectiv beim Mikroskope das Glas von kürzerer Brennweite.

John Dollond betheiligte sich im Jahre 1757 an der von Euler angeregten Streitfrage, ob es möglich sei, Fernröhre ohne Farben, oder wie man sie später genannt hat, achromatische Fernröhre herzustellen (3. Buch, 11. Kapitel). Bekanntlich hielt der große deutsche Geometer dies für möglich, gestützt auf den angeblichen Achromatismus des Auges. Klingenstierna[40]) that Einiges zur Aufhellung dieser Frage: endlich zeigte Dollond, daß Newton's Experiment, um welches es sich handelte, irrig war. Indem nämlich dieser berühmte Optiker ein mit Wasser angefülltes Prisma von veränderlichem Brechungswinkel an ein anderes Prisma von gewöhnlichem Glase setzte, wies er nach, daß der ungefärbt aus dem Systeme beider Prismen ausfahrende Strahl gebrochen war, und andrerseits, daß derselbe Strahl, wenn er keine Brechung erlitt, sondern seiner ursprünglichen Richtung parallel aus dem Apparate austrat, ein merkliches Farbenspectrum zeigte; besonders an den beiden Rändern waren die Regenbogenfarben unverkennbar.

Sobald es nun feststand, daß gewisse Verbindungen von Prismen das Licht ablenkten ohne die Strahlen von verschiedener Farbe zu trennen, so konnte über die Möglichkeit, achromatische Objectivlinsen zu construiren, ferner kein Zweifel bestehen. Nunmehr handelte es sich nur noch darum, feste Substanzen aufzufinden, welche diejenigen Wirkungen, die man durch Verbindung von gewöhnlichen Prismen und Wasserprismen bereits erhalten hatte, ebenso gut oder noch vollkommener hervorbringen könnten. Dollond fand bald, daß die beiden Glasarten Flintglas und Crownglas die gestellten Bedingungen erfüllten, und construirte hierauf in den Jahren 1757 bis 1758 vortreffliche achromatische Fernröhre. Solche kommen heutzutage allein in Gebrauch. Dem gefeierten Optiker wurde bei dieser Gelegenheit von der königlichen Gesellschaft zu London die Copley-Medaille zuerkannt.

Die achromatischen Fernröhre hatten das Schicksal fast aller großen Entdeckungen; sie waren kaum erschienen, so behauptete man schon, daß ein Landgutbesitzer Namens Hall mehrere Fernröhre ähnlicher Art

ſchon ſeit dem Jahre 1753 ausgeführt habe. Aus dieſer Behauptung ging beim Kanzleihofe ein Proceß hervor wegen Ungültigkeit des Dollond'ſchen Patents.

Aber der Lordkanzler Mansfield, wenn er auch infolge der von ihm angeordneten Unterſuchung die Erklärung abgab, Hall habe vor Dollond farbloſe Fernröhre erbaut, wollte Dollond's Patent nicht für ungültig erklären, aus dem Grunde, weil Hall nichts hierüber veröffentlicht hatte, ja ſich ſogar mit allen erdenklichen Vorſichtsmaßregeln umgeben hatte, um zu verhindern, daß die an ſeinen Linſen arbeitenden Künſtler nicht den Zweck ihrer Arbeit erriethen.

Uebrigens liefert die von der königlichen Geſellſchaft an Dollond verliehene Copley-Medaille auf das Unzweifelhafteſte den Beweis, daß die bei Weitem größte Mehrzahl der damaligen engliſchen Gelehrten, vielleicht gar alle ohne Ausnahme, dieſen ausgezeichneten Künſtler als den eigentlichen Urheber der Entdeckung betrachteten. Es würde verwegen ſein, jetzt, ein Jahrhundert ſpäter, anders entſcheiden zu wollen.

Nicht ohne Verwunderung ſieht man, wie damals der berühmte Künſtler Ramsden ſich leidenſchaftlich auf Seite der Gegner ſeines Schwagers Dollond ſtellte.

Im Anfange des gegenwärtigen Jahrhunderts war die Kunſt, achromatiſche Fernröhre zu bauen, von England auf den Continent übergegangen; es ſind jetzt einige Anzeichen vorhanden, daß unſere Nachbarn ihre urſprüngliche Ueberlegenheit wiedererlangen werden. Sowohl auf den britiſchen Inſeln als auf dem Continente war man hauptſächlich behindert durch die Schwierigkeit, große, ſtreifenfreie Flintglastafeln zu finden; jetzt dagegen, wenn es ſich um Herſtellung ſehr großer Fernröhre handelt, etwa von 12 Zoll Oeffnung, iſt es ſchon ebenſo ſchwierig, Crownglas von der gehörigen Reinheit herbeizuſchaffen. Die größten achromatiſchen Fernröhre, die heutzutage im Gebrauche ſind, befinden ſich zu Pulkowa, Cambridge (in der Nähe von Boſton) und Paris; alle drei haben 14 Zoll Oeffnung.

Die beiden erſten ſind aus den berühmten münchener Werkſtätten hervorgegangen; das dritte hat Lerebours ausgeführt[41]).

Anmerkungen der deutschen Ausgabe.

Zum vierten Buch.

1. S. 133. Die Erzählung, der zufolge der König Ptolemäus Euergetes auf der Insel Pharos vor Alexandrien einen Spiegel aufgestellt hatte, mit dem man feindliche Schiffe in ganz unglaublicher Entfernung erkannte, stützt sich allein auf eine Nachricht des J. Bapt. Porta in seiner Magia Naturalis (1560). Auch Roger Baco berichtet in seinem Opus majus, Julius Cäsar habe beim Angriffe auf Britanien Spiegel in großer Höhe auf der Küste Frankreichs aufgerichtet, um dadurch die Städte und die Stellung der feindlichen Lager auf der jenseitigen Küste zu erkennen. Da eine optische Erklärung dieser Erzählungen, wenn sie überhaupt (was sehr zweifelhaft ist) auf Thatsachen beruhen, unmöglich ist, so hat man eine solche im Doppelsinne des Wortes speculum gesucht, welches bekanntlich sowohl Spiegel als Warte bedeutet.

2. S. 133. Amusemens Philosophiques. Amsterdam 1763. Von Pater Abat's interessanten Experimenten über die von Hohlspiegeln erzeugten Bilder kann man Einiges bei Klügel nachlesen in den Zusätzen zu Priestley's Geschichte der Optik, S. 518.

3. S. 134. Annaei Senecae Natur. Quaest. Lib. I, cap. 16.

4. S. 134. Statt die sehr zahlreichen Untersuchungen durchzugehen, welche die vermeintliche Zerstörung der römischen Flotte vor Syrakus und die Vertheidigung Konstantinopel's durch Proklus hervorgerufen haben, kann man sich begnügen, den vortrefflichen Abschnitt im ersten Bande von Wilde's Geschichte der Optik „Von den Brennspiegeln des Archimedes" zu lesen.

5. S. 134. Der bekannte Jesuit Athanasius Kircher (1601 bis 1680) hat, gemeinschaftlich mit seinem Schüler Gaspar Schott, über die Möglichkeit der Thatsache am syrakuser Hafen selbst Untersuchungen angestellt. Er glaubt, Archimedes habe sich zweier parabolischen Spiegel bedient.

6. S. 134. Essai de Dioptrique. Paris 1694.

7. S. 134. Ausführliche Beschreibungen seiner Spiegel, der damit angestellten Versuche und der mächtigen Wirkung derselben gibt Buffon in den Memoiren der pariser Akademie für 1747 und 1748. Einige Jahre später hat er auch ein System von 360 Spiegeln herstellen lassen.

8. S. 135. Siehe Wilde I. Theil, S. 307 u. f., woselbst auch der Originaltext zu der von Arago angeführten Stelle. Nicolaus Zucchius, Jesuit, war 1586 zu Parma geboren, und starb zu Rom 84 Jahre alt. Von seiner Optica philosophia (Lugduni 1652) erschien ein zweiter Band 1656.

9. S. 135. Jakob Gregory glückte es nicht, die von ihm ersonnenen Spiegelteleskope wirklich in brauchbarer Weise auszuführen; indem er selbst auf mechanische Geschicklichkeit keinen Anspruch machte, und durchaus parabolische oder elliptische Spiegel hergestellt wissen wollte, begnügte er sich zuletzt, die Erfindung in seiner

Optica promota (1663, S. 92 u. f.) bei Andern in Vorſchlag zu bringen. Erſt als Dr. Hooke am 5. Februar 1674 der königlichen Geſellſchaft zu London ein ſolches Fernrohr vorlegte, erinnerte man ſich der vor elf Jahren von Gregory und, wie man jetzt weiß, ſchon vor mehr als dreißig Jahren von Merſenne gemachten Vorſchläge. Man findet eine Beſchreibung dieſes Spiegelteleſkops von Dr. Hooke, dem nun Newton freilich zuvorgekommen war, in den von Derham (1726) herausgegebenen Philos. experiments and observations of the late eminent Robert Hooke; vergl. auch Prieſtley in Klügel's Ueberſetzung S. 163.

10. S. 136. Eine Beſchreibung des von Merſenne erdachten Spiegelteleſkops gibt Wilde I. S. 308 und 309. Uebrigens irrt Arago, wenn er den angeführten Brief dem Pater Merſenne zuſchreibt: es ſind zwei Briefe von Descartes an den Pater (29. und 32. des zweiten Bandes der Ausgabe von 1666). Dieſe Briefe, welche Einwürfe Descartes' enthalten, findet man im Auszuge in der franzöſiſchen Encyclopädie Artikel Télescope abgedruckt.

11. S. 136. Am 18. Januar 1672 wurde Newton's Teleſkop der Royal Society überreicht; doch hatte er ſchon im Anfange des Jahres 1668 ein ſolches aus einem ſphäriſchen und einem ebenen Spiegel zuſammengeſetzt. In größerem Maaßſtabe wurden Newton's Teleſkope erſt ein halbes Jahrhundert ſpäter ausgeführt, während die beiden eigenhändig von ihm gefertigten nur von kleinen Dimenſionen waren.

12. S. 136. Short (John, geſt. 1768) wandte ſtatt der gläſernen Spiegel metallene an, denen er zur Vernichtung der ſphäriſchen Abweichung die paraboliſche Form zu geben verſtand. Von ſeinen Teleſkopen, die er bis zu 12 Fuß Länge verfertigte, gibt Lalande ausführliche Nachricht in der Astronomie, 3. édit., §. 2428. Vergl. Bernoulli, Lettres astron, Berlin 1771, S. 101 u. f.

13. S. 136. Caſſegrain's Vorſchlag erſchien gleich nachdem das Newton'ſche Teleſkop in Frankreich bekannt geworden war. Derartige Fernröhre ſoll Short gleichfalls gebaut haben, doch ohne Befriedigendes damit zu erreichen. Vergl. auch Montucla, Histoire II, S. 541.

14. S. 137. Eine ausführliche Beſchreibung der Einrichtung und Aufſtellung ſeines 40füßigen Teleſkops hat Herſchel ſelbſt im zweiten Theile der Philos. Transact. vom Jahre 1795 mit vielen Abbildungen gegeben. Im Auszuge ſteht ſie im 3. Supplementbande zu Bode's Jahrbüchern S. 238 u. f. und an vielen andern Orten.

15. S. 139. Bildlich dargeſtellt iſt das Roſſe'ſche Teleſkop unter Anderem in der neueſten Ausgabe (4) der Wunder des Himmels von J. J. von Littrow, 1854. S. 702.

16. S. 140. Es iſt vom Numidiſchen Marmor die Rede: primum, ut arbitror, marmoreos parietes habuit scena M. Scauri, non facile dixerim sectos, an solidis glebis positos. Plinii Hist. Natur. Lib. XXXVI. c. 8.

17. S. 140. Die phöniziſche Inſel und Stadt Aradus an der Küſte des ſyriſchen Meers. Recognition. Clementinae.

18. S. 140, Vermuthlich hat Arago folgende Stelle des erſten Buchs der Natur. Quaest. im Sinne: Virgea solet fieri vitrea, striata, vel pluribus angulis in modum clavae tortuosa: haec si ex traverso solem accipit, colorem talem, qualis in arcu videri solet reddit. Cap. 7.

19. S. 140. Auch ſchon die Sphäre des Archimed, zwei Jahrhunderte vor Chr., war nach Claudian von Glas; Andere nehmen an, unter ihnen Athan. Kircher, der Apparat, der die Bewegungen der Sonne, des Mondes und der fünf Planeten darſtellte, ſei von einer Glaskugel bedeckt geweſen. Claud. Epigr. 21; Cicero Q. Tusc. I, 25.

20. S. 140. Siehe Anmerkung 2 zum dritten Buche.

21. S. 141. Etwas verſchieden iſt der Sinn der angeführten Stelle beim Ariſtophanes nach Droyſen's Ueberſetzung:

Strepſiades. Du haſt in den Balſamläden doch den Stein geſehn,
Den ſchönen, hellen, wo man hindurch kann deutlich ſehn,
Womit ſie Feu'r anzünden —
Sokrates. — Du meinſt den Brennkryſtall.
Strepſiades. Das eben!
Sokrates. — Nun was willſt du damit?
Strepſiades. — — Wenn wider mich
Die Klage der Schreiber niederſchreibt, ſo nehm' ich es
Und ſtelle mich ſeitwärts ſo damit, der Sonne zu,
Und ſchmelz' ihm unter dem Griffel meine Klage weg.
(Die Wolken, 2. Act, 3. Scene.)

Von vielfachen Unterſuchungen über dieſe Stelle giebt Smith Nachricht in den Anmerk. zu ſeiner Optik, S. 380 der Käſtner'ſchen Ausgabe.

22. S. 141. Nach Plutarch bediente man ſich zu dieſem Zwecke eines ehernen Gefäßes, in deſſen Mitte die angeſammelten Sonnenſtrahlen trockene und leicht brennbare Materialien entzündeten.

23. S. 142. In nuce inclusam Iliada, Homeri carmen in membrana scriptum, tradidit Cicero.

24. S. 142. Aus derſelben Quelle könnte man noch das kleine elfenbeinerne Schiffchen hinzufügen, welches eine kleine Biene mit ihren Flügeln verbergen konnte. Hist. natur. VII. c. 21.

25. S. 142. Seneca ſchreibt die vergrößernde Kraft indeſſen dem Waſſer allein zu, nicht der Geſtalt des Gefäßes, denn unmittelbar vor der im Texte angeführten Stelle heißt es: omnia per aquam videntibus longe esse majora. I, c. 6.

26. S. 143. Philos. Magazine. — Poggendorff Ergänzungsbd. 4. S. 452.

27. S. 144. Plinius' Angaben ſind dem 37. Buche, Kap. 5. entlehnt, wo von den Smaragden geſagt wird: lidem plerumque et concavi, ut visum colligant. Quapropter decreto hominum iis parcitur, scalpi vetitis. — Nero princeps gladiatorum pugnas spectabat smaragdo. Die im Texte erwähnte, ehemals in der Kirche

Maria maggiore zu Florenz befindliche Inschrift auf den angeblichen Erfinder der Brillen lautete:

Qui giace Salvino degli Armati,
Inventore degli Occhiali.
Dio gli perdoni le peccata.

S. Priestley's Geschichte der Optik von Klügel. S. 17.

28. S. 144. Bernhard Gordon in seinem Buche Lilium Medicinae. Die Stelle steht in Smith's complet System of Opticks (1738) Remarks, S. 13; Kästner's Lehrbegriff der Optik, S. 377.

29. S. 144. Vergl. ebenfalls Smith's Optik, woselbst auch nachgewiesen wird, daß die Brillengläser schon im dreizehnten Jahrhunderte in allgemeinem Gebrauche waren; ferner Kästner's Geschichte der Mathem. II. S. 244.

30. S. 144. Plutarch. de placitis Philosophorum, lib. III, c. 1. Unter den Alten ist auch Manilius derselben Meinung gewesen, wie aus einigen von Lalande citirten Versen hervorgeht. Astronomie § 833.

31. S. 147. Die genauere Uebersetzung der ganzen Stelle lautet nach Humboldt folgendermaßen (Kosmos III. S. 115): „Denn derjenige, welcher sich die Hand über die Augen hält oder durch eine Röhre sieht, ist nicht mehr und nicht weniger im Stande die Unterschiede der Farbe zu ergründen, wird aber wohl die Gegenstände in größerer Entfernung sehen. So kommt es ja auch vor, daß die, welche in Erdgewölben und Cisternen sich befinden, von da aus bisweilen Sterne sehen." An demselben Orte gedenkt Humboldt auch einer ähnlichen Stelle des Plinius.

32. S. 147. Schon hundert Jahre vor Mabillon hatte der berühmte Schweizer Joh. Baptist Cysat auf dieses aus dem 13. Jahrhundert stammende Bild aufmerksam gemacht, das sich in einer Chronik des Klosters Scheyern befindet. Das angebliche Fernrohr soll sogar vier Auszüge haben. Diese und andere Andeutungen vom Vorhandensein der Fernröhre in sehr früher Zeit bespricht Wilde, Gesch. der Optik I, S. 140 u. f.

33. S. 148. In der Leydener Ausgabe (1591) S. 63: Per duo specilla ocularia si quis perspiciat altero alteri superposito, majora multo et propinquiora videbit omnia; und S. 206: Quinimo quaedam specilla ocularia fiunt tantae densitatis, ut si per ea quis aut Lunam aut aliquid syderum spectet, adeo propinqua illa judicet, ut ne turres ipsas excedat. Des Francastor's Vorstellung ist übrigens in diesem Punkte sehr unklar und unverständlich.

34. S. 149. Johann Baptista Porta hat seine Magia Naturalis im Jahre 1558, im funfzehnten Lebensjahre verfaßt, und konnte also von dem ein halbes Jahrhundert später erfundenen holländischen Fernrohre keine Kenntniß haben, obgleich seine Aeußerungen auf eine solche Bekanntschaft hinzudeuten scheinen. Die von Arago angeführte Stelle lautet: Concavae lentes, quae longe sunt, clarissime cernere faciunt, convexae propinqua; unde ex visus commoditate his frui poteris.... Si utrumque recte componere noveris, et longinqua et proxima majora, sed clara

videbis. (Vergl. Wilde, Geſchichte der Optik I, S. 119.) Arago's Ueberſetzung iſt alſo, wie man ſieht, nicht recht genau.

35. S. 149. Die wichtigen Aufklärungen, welche van Swinden aus den Haager Archiven für die Geſchichte der Entdeckung und Vervollkommnung der Fernröhre gezogen hatte, ſind durch Moll in folgender Schrift veröffentlicht worden: Geschiedkundig Onderzoek naar de eerste Uitfinders der Vernkykers etc. Amſterdam 1831. 4. Siehe Olbers über den Erfinder der Fernröhre in Schumacher's Jahrbuch für 1843. S. 57 u. f.

36. S. 152. Hugenii Dioptrica. Lugd. Bat. 1703. S. 163.

37. S. 152. In ſeiner Schrift Telescopium, sive ars perficiendi novum illud Galilaei visorium instrumentum ad Sydera. Francof. 1618.

38. S. 153. Papſt Leo X. war überaus kurzſichtig; die Jahreszahl ſeiner Erwählung MCCCCLX legte man ſo aus: Multi Cardinales coeci crearunt coecum Leonem X. Mit Hülfe eines concaven Glaſes übertraf er aber Alle an Schärfe des Geſichts und Weitſichtigkeit; von einem wirklichen Fernrohre in ſeinem Beſitze erzählen die von ihm handelnden Geſchichtſchreiber indeſſen nirgend. Käſtner, Geſchichte der Mathematik. II. S. 245.

39. S. 153. Mit Chr. Huygens Namen bezeichnet finden ſich in London (bei der königl. Geſellſchaft) und in Leyden zwar noch Objectivgläſer von beträchtlich größeren Brennweiten, 210, 170, 122 Fuß u. A.; indeſſen hat Huygens in der That meiſt nur mit Inſtrumenten von 34, 23 und 12 Fuß Länge beobachtet, und es ſcheint ſogar, als ſeien die großen Gläſer nicht von ihm, ſondern von ſeinem Bruder Conſtantin hergeſtellt worden. Eine Unterſuchung der noch vorhandenen Huygens'ſchen Gläſer und Fernröhre hat Prof. Kayſer in Leyden angeſtellt, und dieſelben auf intereſſante Weiſe in ihren Wirkungen mit den neuen münchener Fernröhren verglichen. Schumacher, Aſtron. Nachr. Bd. 25, S. 245 u. f.

40. S. 155. Den erſten Einwand gegen Newton's Verſuch hatte Klingenſtierna ſchon im Jahre 1754 erhoben in ſeiner Abhandlung „über das Geſetz der Brechung bei Lichtſtrahlen verſchiedener Art, wenn ſie durch ein durchſichtiges Mittel in verſchiedene andere gehen.“ Abh. der ſchwed. Akademie Bd. 16. S. 306 der d. Ueberſ. Hauptſächlich durch dieſe Arbeit wurde Dollond zur Anſtellung ſeiner entſcheidenden Verſuche veranlaßt.

41. S. 156. Der Merz und Mahler'ſche Refractor in Pulkowa hat 21 Fuß Brennweite; bei den von denſelben Künſtlern erbauten Inſtrumenten auf der Sternwarte des amerikaniſchen Cambridge beträgt die wirkliche Oeffnung $14^{59}/_{100}$ engl. Zoll, die Brennweite 22 Fuß 6 Zoll engl., die ſtärkſte Vergrößerung 2004. (W. Cranch Bond, Description of the Observatory at Cambridge, Masschts.) Bis zur wirklichen Vollendung des erwähnten großen Lerebours'ſchen Refractors in Paris ſcheint es gegenwärtig noch nicht gekommen zu ſein.

Fünftes Buch.

Ueber die Sichtbarkeit der Gestirne.

Erstes Kapitel.

Einleitung.

Bei den astronomischen Studien, welche wir jetzt beginnen, werden wir häufig voraussetzen, daß man die Sterne am hellen Tage, selbst um Mittag, beobachten kann. Daß dies möglich ist, könnten wir eigentlich als eine durch Beobachtung gegebene Thatsache ansehen; aber ich habe es, der Schwierigkeit des Gegenstandes ungeachtet, vorgezogen, hier eine Erklärung zu geben über eine Erscheinung, welche so zu sagen das Gesicht des Beobachters verdoppelt, indem es erst dadurch möglich wird, den Lauf der Gestirne ebenso am Tage als in der Nacht zu verfolgen. Ich weiß zwar, daß man dieser Erklärungen entbehren kann; habe ich doch selbst sehr geschickte Beobachter gekannt, und kenne deren noch, welche nicht die geringste Vorstellung davon haben. Aber ich zog in Betracht, daß die bei den Astronomen in Anwendung kommenden Methoden durch das Sinnreiche, das in ihnen liegt, kein geringeres Interesse einflößen dürften, als durch die Schönheit der Resultate, zu denen sie geführt haben. Wer jedoch an den folgenden Betrachtungen nicht sonderliches Interesse hat, oder wen die Schwierigkeit des Gegenstandes abschrecken sollte, der mag das gegenwärtige Buch, ohne irgend einen Nachtheil in astronomischer Beziehung, ungelesen lassen.

Zweites Kapitel.

Eine der Wirkungen der Fernröhre auf die Sichtbarkeit der Sterne.

Die Reizbarkeit des Auges iſt eine begränzte; iſt das auf die Retina fallende Licht nicht ſtark genug, um dieſelbe zu erſchüttern, ſo hat das Auge keine Empfindung. Selbſt in den dunkelſten Nächten entgehen zahlreiche Sterne unſerer Beobachtung, weil ſie nicht hell genug ſind.

Bei den Fixſternen beſteht die Wirkung der Fernröhre in der Vermehrung der Helligkeit des Bildes.

Das cylindriſche Bündel paralleler Strahlen, die von einem Fixſterne kommend, auf die Oberfläche der Objectivlinſe fallen, und dieſe Kreisfläche zur Grundfläche haben, iſt nämlich beim Austritte aus der Ocularlinſe beträchtlich verengt. Des erſten Cylinders Durchmeſſer verhält ſich zum Durchmeſſer des zweiten wie die Brennweite des Objectivs zur Brennweite des Oculars; oder wie der Durchmeſſer des Objectivs zum Durchmeſſer desjenigen Theils vom Oculare, welchen das ausfahrende Bündel einnimmt.

Da der durch das Ocular austretende Cylinder offenbar alle Strahlen enthält, welche auf die Oberfläche des Objectivglaſes fallen, ſo wird ſich die Lichtſtärke in jenem Cylinder zu der in dieſem verhalten wie die Grundfläche des einen zur Grundfläche des andern.

Wenn das Fernrohr vergrößert, ſo iſt das austretende Lichtbündel enger als das cylindriſche auf das Objectiv fallende Bündel, und es iſt alſo klar daß, welches auch die Oeffnung der Pupille ſei, mittelſt des Fernrohrs mehr Strahlen in das Auge bringen, als ohne daſſelbe geſchehen würde; das Fernrohr vermehrt alſo jedenfalls die Helligkeit des Lichtes der Fixſterne.

Für die Wirkung der Fernröhre iſt derjenige Fall offenbar der günſtigſte, in welchem das ganze ausfahrende Bündel in das Auge tritt, wo alſo das Bündel einen geringeren Durchmeſſer hat als die Pupille; dann wirkt das geſammte Licht, welches auf das Objectiv auffällt, mittelſt des Fernrohrs zur Erzeugung des Bildes mit. Sieht man dagegen mit bloßem Auge, ſo kommt nur ein Theil dieſes Lichts

zur Benutzung, derjenige nämlich, welchen die Oberfläche der Pupille aus dem natürlichen, einfallenden Bündel herausſchneidet.

Es verhält ſich demnach die teleſkopiſche Helligkeit eines Sterns zur Helligkeit des Bildes im bloßen Auge wie die Oberfläche des Objectivglaſes zur Oberfläche der Pupille.

Das Vorhergehende gilt von der Sichtbarkeit eines einzigen Punktes, eines einzigen Fixſterns; wir wollen nun aber zur Beobachtung eines kleinen Objectes von merklicher Winkelausdehnung übergehen, alſo etwa zur Beobachtung eines Planeten.

Angenommen man gehe von einer beſtimmten Vergrößerung aus, die gerade hinreicht, um alle von jedem Punkte des Objects kommenden Strahlen, ſo weit ſie auf die ganze Objectivfläche fallen, nach ihrem Austritte aus dem Ocularglaſe, durch die Oeffnung der Pupille ins Auge einzulaſſen; ſo wird dieſelbe Bedingung offenbar auch für alle ſtärkeren Vergrößerungen, als die urſprüngliche war, erfüllt werden. Von dieſem Augenblicke an werden die Bilder im Auge für jeden Punkt, und folglich für die Geſammtheit aller, unverändert durch diejenige Strahlenmenge erzeugt werden, die durch die Objectivfläche bedingt iſt. Aber dieſe Strahlen werden auf der Netzhaut über Räume verbreitet ſein, die mit den angewandten Vergrößerungen zunehmen; die Helligkeit des Bildes eines Planeten wird demnach, von derjenigen Vergrößerung an, bei welcher ſämmtliche auf das Objectiv auffallende Strahlen auf die Netzhaut gelangen, um ſo geringer werden, als die Vergrößerung zunimmt.

In welchem Verhältniſſe ſteht dieſe Schwächung beim Uebergange von einer Vergrößerung zur andern?

Es iſt ſchon oben gezeigt worden (3. Buch, 14. Kap., S. 104), daß man die Flächenvergrößerungen findet, wenn man die Oberfläche des Objectivs dividirt durch den Flächeninhalt der Durchſchnitte, die man erhält, wenn derjenige ausfahrende Strahlencylinder ſenkrecht durchſchnitten wird, welcher durch die parallelen, von einem gegebenen Punkte ausgehenden und auf das Objectiv fallenden Strahlen gebildet wird.

Da ſich nun die Helligkeiten umgekehrt verhalten wie die Ausdehnungen der Flächen, ſo werden ſie ſich bei zwei gegebenen Ocular-

linsen gleichfalls umgekehrt verhalten wie die Flächen der kreisrunden Durchschnitte, die man durch die ausfahrenden Strahlencylinder erhält. Für unsere nachfolgenden Erläuterungen ist übrigens nur nöthig, daß man festhält, die Helligkeit eines Bildes nehme beträchtlich ab bei zunehmender Vergrößerung.

Die Atmosphäre kann man wie einen Planeten von unbestimmter Größe ansehen, indem jedes Theilchen derselben, gerade wie alle Punkte eines Planeten, Strahlen ins Auge sendet.

Der Theil der Atmosphäre, den man in einem Fernrohre übersieht, wird also auch die soeben angegebene Schwächung erleiden: das ganze Feld wird um so dunkler erscheinen, je stärker die angewandte Vergrößerung ist.

Drittes Kapitel.

Ueber die Empfindlichkeit des Auges beim Sehen der Sterne.

Die Empfindlichkeit des Auges ist sehr veränderlich, je nach den Punkten auf der Netzhaut, wo das Bild entsteht; steht man z. B. direct mit dem Fernrohre nach einem sehr schwachen Sterne, so ist es möglich, daß man ihn nicht erkennt, während man Sterne, die nicht heller sind, ganz deutlich erkennt, wenn sie rechts oder links von ersterem stehen. Sehr häufig haben die Astronomen Gelegenheit gehabt zu bemerken, daß man, um die äußerst schwachen Saturnsmonde zu beobachten, das Auge auf einen Punkt richten muß, in welchem sich der Mond nicht befindet; man kann in dieser Beziehung behaupten, ohne etwas Paradoxes zu sagen, daß man, um ein sehr lichtschwaches Object zu bemerken, es nicht ansehen dürfe [1]).

In einer Herschel'schen Schrift wird diese Bemerkung so angeführt, als habe sie Herschel aus seinen Beobachtungen zuerst gefolgert; sie steht aber schon in einer Abhandlung des vierten Cassini (Jean-Dominique).

Für diese Thatsache reicht vielleicht eine sehr einfache Erklärung aus, wenn man nämlich annimmt, daß der Mittelpunkt der Netzhaut,

als derjenige Punkt, der beim Sehen am häufigſten zur Anwendung kommt, dadurch zuerſt ſeine Empfindlichkeit verliere.

Zwiſchen Augen, die ſonſt geſund ſind, beſtehen ſehr große Unterſchiede in der Empfindlichkeit.

Jedermann erinnert ſich des Verſes über die Plejaden beim Ovid:

Quae septem dici, sex tamen esse solent [2]).

„Man nennt ſie die ſieben, obgleich man gewöhnlich nur deren ſechs ſieht."

Nun erkennen aber Einige wirklich ſieben Sterne in den Plejaden; der Dr. Longs gehörte zu ihnen; derſelbe führt einen ſeiner Freunde an, der acht Sterne erkannte. Keppler erzählt ſogar, ſein Lehrer Mäſtlin habe ohne Fernrohr oder Brille bis vierzehn Sterne in der Plejadengruppe erkannt.

Die Sichtbarkeit ſehr kleiner Objecte, beſonders der Sterne iſt nicht nur von der Empfindlichkeit der Netzhaut bedingt, ſondern hängt auch davon ab, wie vollkommen ſich die Bilder auf dieſer Membran darſtellen. Sobald es ſich um die Sichtbarkeit naheliegender Gegenſtände handelt, iſt die Concentrirung der Bilder auf einen kleinen Raum beſonders von großem Einfluſſe.

Darin wird auch der Grund liegen für die widerſprechenden Urtheile, zu denen man gekommen iſt über die Frage, ob die Jupitersmonde mit bloßem Auge zu ſehen ſeien. Um eine directe Entſcheidung über dieſe Frage herbeizuführen, habe ich ein Fernrohr conſtruiren laſſen, deſſen Objectiv und Ocular genau gleiche Brennweite hatten; mit Hülfe eines ſolchen Inſtruments konnte man die Bilder der Objecte ſehr gut begrenzen, und die langen divergirenden Strahlen wegſchaffen, welche das Bild eines Sterns umgeben, ohne jedoch der optiſchen Kraft des Auges das Geringſte hinzuzufügen. Mit dieſem Fernrohre ganz neuer Art haben alle jüngeren Aſtronomen der pariſer Sternwarte (die Herren E. Bouvard, Laugier, Mauvais, Goujon, Faye) ſogleich beim erſten Verſuche einen vom Hauptplaneten gehörig entfernten Trabanten erkennen können [3]).

D'Anjou erzählt, daß ein ſibiriſcher Völkerſtamm, die Jakuten, behaupte vielfach bemerkt zu haben, wie der blaue Stern (Jupiter) einen andern ſehr kleinen Stern verſchlungen habe (swallow), um ihn

bald darauf wieder von sich zu geben (send it). Jene Völkerschaften hatten also mit bloßem Auge die Ein- und Austritte der Jupitersmonde beobachtet. Frägt man, ob es eine Folge besonderer Empfindlichkeit der Netzhaut war, oder der Schärfe des Bildes auf derselben, so spricht das pariser Experiment mit dem Fernrohre ohne Vergrößerung für die letztere Annahme.

Das Vorhandensein eines Bildes auf einem gegebenen Punkte der Netzhaut übt einen nachtheiligen Einfluß auf das Zustandekommen sehr schwacher Bilder in der Nähe, sogar wenn kein divergirender Strahl sichtlich von ihm ausgeht.

Diese Thatsache ist auf Beobachtungen gegründet, die man zu Rom auf der dortigen Sternwarte angestellt hat: der Pater de Vico und seine Mitarbeiter machten die Bemerkung, daß die lichtschwachen Saturnsmonde im Cauchoir'schen Refractor nur dann sichtbar waren, wenn man das Bild des Planeten hinter einen dunkeln Metallstreifen brachte. Ich habe diese Erscheinung folgendermaßen erklären zu können geglaubt.

Die Hornhaut zerstreut einen merklichen Theil des durchgehenden Lichtes nach allen Richtungen hin, etwa wie ein mattgeschliffenes Glas, und zwar entweder wegen der besondern Färbung der Cornea, oder in Folge der festen oder flüssigen Streifen, welche sie durchfurchen. Befindet sich nun ein glänzendes Gestirn im Gesichtsfelde, so muß die Netzhaut offenbar überall stark erleuchtet werden, und alsdann können die andern Sterne nur sichtbar werden, wenn ihre regelmäßig entstandenen Bilder dies zerstreute Licht merklich übertreffen. Dies angenommen, mußte der im Brennpunkte angebrachte undurchsichtige Metallstreifen bei den römischen Beobachtungen die Netzhaut des Astronomen vor Erleuchtung durch Zerstreuung schützen; der sechste und der siebente Mond warfen nun ihre Bilder auf die fast ganz im Dunkeln befindlichen Verzweigungen des Sehnerven, und riefen dort eine merkliche Empfindung hervor. Sobald sich dagegen Saturn zeigte, so wurde die ganze Netzhaut erhellt, besonders in der Nähe des Planeten; die Bilder der beiden lichtschwachen Monde befanden sich mitten in diesem allgemeinen Schimmer, und vermochten dennoch nicht die Helligkeit desselben soweit zu vermehren, daß das feinste Sinnes-

werkzeug im Stande war, irgend einen Unterſchied zwiſchen den Punkten, wo ſie ſich abbildeten, und den benachbarten Punkten wahrzunehmen.

Viertes Kapitel.

Wie ſtark muß das Licht ſein, um ein anderes zu verdunkeln?

Da man die Sterne am hellen Tage gewiſſermaßen durch den Lichtvorhang ſieht, den die Atmoſphäre erzeugt, und da dieſer Vorhang bisweilen ſtark genug iſt, um das Licht der Fixſterne und Planeten zu verlöſchen, ſo iſt es von Wichtigkeit durch directe Experimente zu ermitteln, welches das Verhältniß zwiſchen zweien in derſelben Richtung erſcheinenden Lichtern ſein müſſe, damit das ſchwächere vor dem helleren vollſtändig verſchwinde.

Dieſe photometriſche Aufgabe hat man folgendermaßen gelöſt:

Es mag AB in Fig. 85 ein undurchſichtiger Körper ſein, der vertical auf einem Blatte Papier ſteht; L und M ſeien zwei Lichter von gleicher Helligkeit; AD endlich ſei der Schatten von AB, erzeugt durch das Licht L, und AC der von M hervorgerufene Schatten.

Sind nun die beiden Entfernungen AM und AL einander gleich,

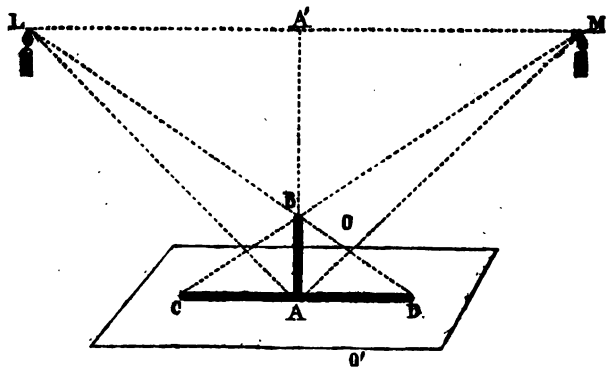


Fig. 86. — Photometriſches Experiment zur Vergleichung zweier Lichter.

so werden die Schatten AD und AC gleich grau erscheinen; nicht etwa schwarz, weil der geometrische Schatten AD durch das von M kommende Licht erhellt wird, und der Schatten AC durch das von L kommende; diese unvollkommenen Schatten bestehen überhaupt nur, weil das Papier außerhalb ihrer geometrischen Grenzen gleichzeitig durch L und M erleuchtet wird.

Ist AM größer als AL, so wird der Schatten AD weniger dunkel als AC erscheinen; wenn bei unveränderter Entfernung AM, der Abstand AL zunimmt, so wird der Schatten AD stufenweise schwächer werden, und es wird zuletzt eine Entfernung geben, bei welcher AD vollständig verschwindet: bei der großen Mehrzahl der Menschen wird dies Verschwinden eintreten, sobald AL acht Mal größer ist als AM, d. h. sobald das Licht L den undurchsichtigen Körper und die benachbarten Theile des Papiers vierundsechzig Mal schwächer erleuchtet als das Licht M. Welches auch die absolute Helligkeit von M und L ist, stets wird der Versuch auf dasselbe Resultat führen. Wir wollen jetzt untersuchen, zu welchen Folgerungen uns derselbe leitet.

Auf den Schatten AD fällt ununterbrochen das Licht M; die benachbarten Theile empfangen dagegen zugleich das Licht M und das Licht L; folglich werden die Räume O und O′, im Moment des Verschwindens, erleuchtet durch $M + \frac{M}{64}$. Der geometrische Schatten AD wird unterdessen nur von M erhellt; da nun das Auge keinen Unterschied der Helligkeit zwischen O, O′ und AD bemerkt, so folgt, daß die Vermehrung eines beliebigen Lichtes um seinen vierundsechzigsten Theil keine für unser Sehorgan merkliche Wirkung hervorbringt. Bewegt man nun, bei sonst unveränderten Verhältnissen, den Körper AB sehr langsam, so ist das Ergebniß dasselbe, wie bei absoluter Unbeweglichkeit; sobald man diesen Körper dagegen heftig vorwärts oder hin und her bewegt, so macht der geometrische Schatten sogleich dieselben Bewegungen, und wird dabei erkennbar.

Man sieht also, daß eine Bewegung von einer gewissen Schnelligkeit Helligkeitsunterschiede bemerklich macht, welche das Auge im Zustande der Ruhe nicht wahrnimmt, nämlich Helligkeitsunterschiede unter $1/64$.

Fünftes Kapitel.

Gegenstände von einigem Umfange behalten, mit Ausnahme der Ränder, denselben Glanz, gleichviel ob man sie deutlich oder undeutlich sieht.

ABCD in Fig. 86 mag eine selbst leuchtende oder durch zerstreutes Licht erhellte Fläche sein; ich nehme ferner an, dieselbe sei gleichmäßig erleuchtet, und will zeigen, daß dieselbe alsdann gleich hell erscheint, gleichviel ob man sie durch undeutliches oder durch deutliches Sehen wahrnimmt. Bei undeutlichem Sehen wird jeder Punkt des Umfangs ein kleiner Kreis, und aus der Gesammtheit dieser kleinen Kreise entstehen der äußere und innere Kreisumfang, die beide in der Figur durch Punkte bezeichnet sind. Zwischen diesen beiden punktirten Kreisen nimmt das Licht von innen nach außen ab, aber jeder innerhalb des Kreises abcd belegene Punkt wird ebenso hell erscheinen, als ob das von ihm ausgehende Licht sich nicht auf der Netzhaut zerstreute. Es sei nämlich J einer dieser Punkte, und das von ihm kommende Licht möge sich infolge des undeutlichen Sehens über einen Kreis vom Halbmesser JM verbreiten. Der Mittelpunkt J würde folglich sehr merkbar geschwächt sein, kämen nicht andere Strahlen zu den ihm übriggebliebenen hinzu; aber woher kommen diese Strahlen? Von allen Punkten des Kreises JM, aber auch nur von diesen Punkten. Wenn sich also einerseits das Licht von J gleichförmig über die Fläche des Kreises JM verbreitet, und andrerseits jeder Punkt dieses Kreises, ohne Ausnahme,

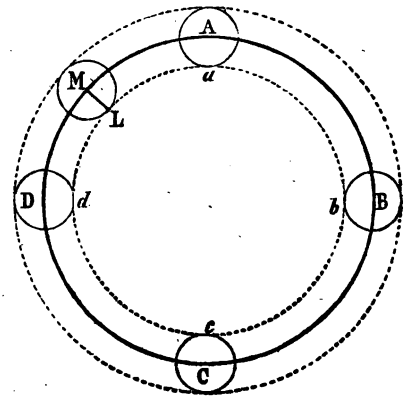


Fig. 86. — Gleichförmiger Glanz einer Fläche von beträchtlicher Größe.

den gebührenden Theil von Strahlen dem Punkte J zusendet, so muß nothwendig demjenigen Punkte auf der Netzhaut, wo das deutliche Bild von J entstanden sein würde, alles Dasjenige ersetzt werden, was er in Folge der Zerstreuung des Lichts über einen Kreis verloren haben würde; denn es leuchtet ein, daß die Gesammtheit der Punkte dieses Kreises ihm das Verlorene ersetzt. Irrig wäre dagegen die hier gemachte Schlußfolgerung, wenn der Kreis JM über die wirkliche Kreisscheibe ABCD hervorragte.

Sechstes Kapitel.

Ueber die Helligkeit der teleskopischen Bilder der Sterne.

Wenn es sich nicht mehr um isolirte Punkte handelt, sondern um die beiden Bilder eines Planeten, die auf der Netzhaut beim Sehen mit bloßem Auge und mit Hülfe eines Fernrohrs entstehen, so müssen die verhältnißmäßigen Helligkeiten derselben nothwendig abnehmen wie die Flächenausdehnungen dieser beiden Bilder.

So ist also, ohne Weiteres hinzuzufügen, das Bild eines Planeten um so schwächer, je stärker die Vergrößerung ist, die man anwendet.

In welchem Verhältnisse tritt diese Schwächung ein, wenn man die Vergrößerungen wechselt?

Wenn A für ein gegebenes Ocular die Fläche des ausfahrenden Lichtbündels bedeutet, das von einem Punkte kommt, und A′ die Fläche des ausfahrenden Bündels für ein anderes Ocular, so erhält man für das Größenverhältniß der Bilder auf der Netzhaut das Verhältniß von A zu A′. Dies wird also auch das Verhältniß sein, in welchem die Bilder eines Planeten oder irgend eines andern Körpers untereinander stehen.

Die Lineardimensionen der beiden Bilder verhalten sich wie der Durchmesser des Objectivs zum Durchmesser des austretenden Bündels. Um demnach zu erfahren, wie vielmal die Fläche des vergrößerten Bildes die Fläche des Bildes beim Sehen mit bloßem Auge übertrifft,

hat man nur das Quadrat des Objectivdurchmeſſers durch das Quadrat des Durchmeſſers vom ausfahrenden Bündel zu dividiren, oder was daſſelbe iſt, man muß die Oberfläche des Objectivs dividiren durch die kreisförmige Grundfläche des ausfahrenden Strahlenbündels.

Das Verhältniß der geſammten Lichtmengen, durch welche die beiden Bilder eines Sterns hervorgebracht werden, ergibt ſich wenn man die Fläche des Objectivs dividirt durch die Fläche der Pupille. Dieſe Zahl iſt kleiner als der Quotient, den man erhält, wenn man die Fläche des Objectivs durch die Fläche des austretenden Bündels dividirt. In Betreff der Planeten folgt daraus:

Daß bei einem Fernrohre der Gewinn an Helligkeit des Lichts geringer iſt als der Verluſt, der die Vergrößerung der Bildfläche auf der Netzhaut begleitet; die Helligkeit dieſer Bilder muß alſo ununterbrochen abnehmen, wenn man zu ſtärkeren und ſtärkeren Vergrößerungen am Fernrohre oder Spiegelteleſkope fortgeht.

Der Theil der Atmoſphäre, den man in einem Fernrohre erblickt, wird nun gleichfalls unter dem ſoeben ausgeſprochenen Geſetze der Abſchwächung ſtehen. Was die Helligkeit betrifft, werden alſo die Fernröhre keineswegs günſtig für die Sichtbarkeit der Planeten wirken.

Anders verhält es ſich bei den Fixſternen; die Helligkeit des Bildes von einem Sterne iſt im Fernrohre beträchtlicher als für das bloße Auge; noch mehr: das in beiden Fällen durch das Licht der Atmoſphäre gleichförmig erhellte Geſichtsfeld iſt heller beim Sehen mit bloßem Auge. Es gibt alſo, innerhalb dieſer Betrachtungen über die Helligkeit, zwei Gründe, welche veranlaſſen, daß das Bild eines Sterns im Fernrohre viel mehr als mit bloßem Auge gegen die Atmoſphäre hervortritt.

Dieſes Hervortreten muß mit den Vergrößerungen ſelbſt wachſen; denn wenn man von einer gewiſſen Vergrößerung des Sterns abſieht, die nichts iſt als eine Folge der mannigfaltigen Wirkungen der Diffraction und der Interferenzen; wenn man ferner abſieht von einer ſtärkeren Zurückwerfung, welche das Licht an den ſchieferen Flächen der Oculare von ſehr kurzen Brennweiten erleidet: ſo iſt die Lichthelligkeit des Sterns ſolange conſtant, als die Oeffnung des Objectivs dieſelbe bleibt. Dagegen nimmt, wie wir geſehen haben, die Helligkeit des

Fernrohrfeldes fortwährend ab mit steigenden Vergrößerungen. Ein Stern muß demnach (alle übrigen Umstände gleich gesetzt) um so sichtbarer sein, er muß sich von dem hellen Grunde des Fernrohrfeldes umsomehr abheben, je stärkere Vergrößerung man bei der Beobachtung anwendet.

Dem bloßen Auge erscheinen die Sterne sehr groß; so hat Tycho de Brahe, der die Fernröhre nicht kannte, den hellsten Sternen Durchmesser bis zu drittehalb Minuten beigelegt.

Aber nehmen wir lieber etwa eine Minute an als Durchmesser eines Sterns für das unbewaffnete Auge; ein gutes Fernrohr mag diesen irrigen Durchmesser dagegen auf drei Bogensecunden reduciren. Die kleinen Kreisscheiben, über welche sich in beiden Fällen das Licht des Sterns ausbreitet, haben Durchmesser wie 20 zu 1; das Verhältniß der Flächen der Scheibchen, oder das Verhältniß der Lichtstärken beider Bilder wird also wie 400 zu 1 sein.

Beim Sehen mit bloßem Auge mußte das Licht jedes Punktes des ausgedehnten Bildes wenigstens ein Sechzigstel von dem atmosphärischen Lichte sein, welches den Hintergrund der Netzhaut gleichförmig erleuchtet, damit der Stern sichtbar wurde. Beim teleskopischen Sehen reicht es hin, wenn 400 Mal die Intensität 1 diesem Sechzigstel gleich ist.

Siebentes Kapitel.

Erscheinungen, die sich auf die Sichtbarkeit der Sterne bei Tage und bei Nacht beziehen, sowohl bei Beobachtungen mit bloßem Auge als mit Fernröhren.

Wir stehen am Ende des mühsamen und schwierigen Weges, den wir durchlaufen mußten, um über alle Erscheinungen bei der Sichtbarkeit der Sterne vollständig Rechenschaft geben zu können, sowohl für die Nacht- als Tagesbeobachtungen, sei es daß man mit bloßem Auge oder mit Fernröhren beobachtet.

Zuerst die Beobachtungen bei Nacht.

Unterhalb einer gewissen Stärke ist das von einem Sterne

kommende Licht zu ſchwach um einen merklichen Eindruck auf die Netzhaut zu machen. Ein Fernrohr dagegen vermehrt, wie wir S. 172 geſehen haben, die Helligkeit des Bildes im Auge, im Verhältniſſe der Objectivfläche zur Oberfläche der Pupille. Es iſt alſo ſehr natürlich, daß man am Himmel bei Nacht mit einem Fernrohre eine ſehr beträchtlich größere Anzahl Sterne mehr erkennt, als mit bloßem Auge der Fall iſt.

Wie nun aber bei den Tagesbeobachtungen der Sterne?

Wenn man mit bloßem Auge einen Stern erkennen will, ſo entſteht auf der Netzhaut ein leuchtendes Bild von dem in derſelben Richtung belegenen Theile der Atmoſphäre. Um einen Stern erkennen zu können, muß alſo das Licht deſſelben, wie das oben erwähnte Experiment lehrt, um $^1/_{64}$ dasjenige des erhellten Feldes übertreffen, auf welches es fällt. Aber hier kommen Erſcheinungen des undeutlichen Sehens weſentlich ins Spiel. Mit bloßem Auge wird man einen Stern nie vollſtändig ſcharf und deutlich ſehen; ſtets wird das Bild deſſelben mehr oder weniger vergrößert erſcheinen, und folglich das Licht in jedem einzelnen Punkte ſehr beträchtlich geſchwächt ſein; dagegen bleibt die Helligkeit des Feldes dieſelbe, gleichviel, wie wir bereits wiſſen, ob das Sehen ſcharf oder undeutlich iſt. Damit ein Stern alſo mit bloßen Augen ſichtbar ſei, muß das beträchtlich geſchwächte Licht ſeines undeutlichen Bildes um mehr als $^1/_{64}$ von dem atmoſphäriſchen Lichte verſchieden ſein, das über alle Punkte der Netzhaut ausgebreitet iſt. Dies letztere kann aber das durch Verbreiterung geſchwächte Licht ſelbſt der hellſten Sterne des Himmels vielfach übertreffen, und die Sterne dem bloßen Auge vollſtändig unſichtbar machen.

Es iſt zwar wahr, daß die Sterne durch die tägliche Bewegung des Fixſternhimmels von Oſt nach Weſt geführt werden, und ſich alſo im Geſichtsfelde verrücken, aber dieſe Verrückung geſchieht äußerſt langſam, und gehört zu denjenigen, von denen das angeführte Experiment lehrt (Kap. 4, S. 169), daß ſie die Sichtbarkeit eines ſchwachen Lichtes auf helleren Lichtflächen nicht begünſtigen.

Betrachten wir aber das Geſtirn durch ein Fernrohr, ſo wird ſein Bild ein viel kleineres als für das bloße Auge, und dieſe einzige Urſache reicht ſchon hin Sterne ſichtbar zu machen, welche man vorher

nicht bemerkte. Ferner vergrößert auch das Fernrohr die Bewegungen ebensowohl als die räumliche Ausdehnung der Objecte, und die Verrückung infolge der täglichen Bewegung erreicht, wenn sie mit der Vergrößerung multiplicirt wird, einen Werth groß genug, um zu denjenigen Bewegungen zu gehören, welche die Sichtbarkeit eines schwachen Lichts auf einem erhellten Hintergrunde begünstigen.

Endlich nimmt auch, bei Anwendung des Fernrohrs, die Dunkelheit des von der Atmosphäre erhellten Gesichtsfeldes mit steigenden Vergrößerungen zu, während die Helligkeit des Sterns dieselbe bleibt; das Fernrohr muß also, unter sonst gleichen Umständen, um so schwächere Sterne erkennen lassen, je stärker die Vergrößerung ist, und hiermit stimmt die Erfahrung vollständig überein.

Die Sichtbarkeit der Planeten dagegen wird durch stärkere Vergrößerungen nicht begünstigt; denn in diesem Falle nimmt die Helligkeit des Planetenbildes ab, und da gleichzeitig und in demselben Verhältnisse die Helligkeit des Gesichtsfeldes abnimmt, so bleibt das Verhältniß beider Lichter beim Uebergange von einer Vergrößerung zur andern dasselbe; nur erscheint die von der täglichen Umdrehung des Himmels herrührende Verrückung der Planeten um so schneller, je stärker die Vergrößerung ist, und bis zu einer gewissen Grenze hin wird durch diese schnelle Bewegung, wie wir bereits festgestellt haben, die Sichtbarkeit begünstigt.

Im Vorhergehenden habe ich gewisse Vergrößerungen der Sterndurchmesser unbeachtet gelassen, die von Diffractions- und Interferenz-Wirkungen herrühren, und welche die Sichtbarkeit der Gestirne im Fernrohre etwas verringern müssen. Auch habe ich die beträchtlichste Zurückwerfung mit Stillschweigen übergangen, welche das Licht an den schiefen Flächen der Oculare von sehr kurzer Brennweite erleidet; aber es möchte hier nicht der Ort zu so detaillirter Erörterung sein.

Es darf schließlich nicht unerwähnt bleiben, daß der zwischen Nacht- und Tagebeobachtungen aufgestellte Unterschied keineswegs ein absoluter, sondern nur ein relativer ist; daß sogar in der Nacht das Feld eines Fernrohrs durch ein gewisses, äußerst schwaches Licht erhellt wird, dessen Ursprung in gewisser Beziehung unsicher erscheinen könnte, welches aber jedenfalls hinreicht, um die allerkleinsten Sterne unsichtbar

zu machen. Daß dieſe Sterne bei ſehr ſtarken Vergrößerungen ſichtbar werden, rührt davon her, daß infolge dieſer Vergrößerung die Helligkeit dieſes Lichtes fortwährend abnimmt, wenn man Ocularlinſen von immer kürzeren Brennweiten anwendet. Dieſe Bemerkung wird uns ſpäter zu Statten kommen, wenn es ſich um die Auflöſung gewiſſer Nebelflecke in Sternhaufen handelt.

Achtes Kapitel.

Ueber die Sichtbarkeit der Sterne in Brunnen.

Ariſtoteles ſagt, daß man die Sterne erblickt, wenn man ſich in der Tiefe eines Brunnens befindet.

Dieſe Beobachtung des griechiſchen Philoſophen theilt Buffon mit in dem Abſchnitte ſeines Werks, der vom Menſchen handelt, doch ohne die Schrift zu nennen, der er dieſelbe entlehnt hat[4]).

Ameilhon belehrt uns im 42. Bande der Memoiren der Akademie der Inſchriften (erſchienen 1786), daß die fragliche Stelle im 5. Buche de generatione animalium vorkommt. In demſelben Buche erzählt Ariſtoteles ferner, daß man ſich, um die Sterne deutlich zu ſehen, langer Röhren bediente; aber es ſpricht Alles dafür, daß derartige Röhren nur wie Brunnen wirkten, und daß ſich im Innern derſelben keine Art von Glas befand.

Auch Plinius verſichert wie der Stagyrit, daß man vom Boden einer engen Höhle aus die Sterne am hellen Tage erblickt[5]); aber vielleicht hatte der berühmte Schriftſteller dieſe Beobachtung, nach ſeiner Gewohnheit, von Ariſtoteles entlehnt, ohne ſich von der Richtigkeit derſelben zu überzeugen. Jedenfalls glaube ich, daß man Plinius nicht als Gewährsmann für die von ihm berichtete Thatſache anführen darf.

In der Roſa Urſina, einer Schrift Scheiner's, lieſt man auf S. 417 Folgendes:

„Von einem wohlunterrichteten und ſehr glaubwürdigen Manne habe ich erfahren, es ſei in Spanien eine ausgemachte Sache, daß man in tiefen, oben offenen Brunnen den Himmel und die Sterne, die durch

Reflex wie in einem Spiegel glänzen, selbst um die Mittagszeit sehr deutlich sieht, und daß er selbst sie auf diese Weise sehr häufig betrachtet habe .... In Coimbra versichern die Studenten und andere Beobachter, daß man sie am Boden eines sehr tiefen Brunnens erkennt."

In Sir John Herschel's Astronomie (S. 63 der ersten englischen Ausgabe) finde ich Folgendes*):

„Die durch das Zenith gehenden hellen Sterne kann man sogar (may even be) mit bloßen Augen sehen, wenn man sich am Boden einer tiefen und engen Höhle befindet, wie die gewöhnlichen Brunnen sind oder die Schachte (shafts) der Bergwerke. Ich selbst habe von einem berühmten Künstler gehört (ich denke es war Troughton), daß der Umstand, der seine Aufmerksamkeit auf Astronomie lenkte, das regelmäßige, mehrere Tage hintereinander sich zu einer bestimmten Stunde wiederholende Erscheinen eines hellen Sterns war, den er in der Richtung seiner Rauchfangröhre erblickte."

Nimmt man an, was diese Zeugnisse zu thun gestatten, daß gewisse Sterne vom Grunde eines Brunnens aus, oder durch ein langes, schwarzes, einer Rauchfangröhre ähnliches Rohr mit bloßem Auge sichtbar seien, wie soll man diese Thatsache erklären? Ich glaube es kann auf eine sehr einfache Weise geschehen.

Das Gesichtsfeld des bloßen Auges, d. h. die Reihenfolge von Objecten, die das unbewegte Auge auf einmal fassen kann, beträgt 90° nach den Alten, 135° im horizontalen und 112° im verticalen Sinne nach Venturi; nach Brewster endlich 150° horizontal und 120° vertical.

Ist also das unbewegte Auge auf den Himmel gerichtet, so empfängt es Strahlen von allen Punkten der Atmosphäre, die auf einer kreisrunden Fläche von mehr als 100° Durchmesser liegen, und man begreift leicht, daß die regelmäßige Erleuchtung der Netzhaut unter diesen Umständen beträchtlich sein muß. Dazu kommt, daß die Hornhaut nicht vollkommen durchsichtig ist, sondern daß sie bis zu einem gewissen Grade wie ein mattgeschliffenes Glas wirkt, und daß sie somit auf der Netzhaut nach allen Richtungen hin die einfallenden atmosphärischen Strahlen verbreitet.

Bei dieser Auffassung der Sache muß die Netzhaut eines nach

dem Zenith gerichteten Auges Strahlen erhalten, die von allen auf einer ganzen Halbkugel befindlichen Punkten der Atmosphäre herkommen, und folglich so stark erhellt werden, daß das Bild eines Sterns auf dem hellen Grunde nicht bemerklich werden kann. Sobald man aber mittelst einer Röhre den größten Theil desjenigen Lichtes abhält, welches auf die Hornhaut fiel, können sogleich die in einen Punkt der Netzhaut vereinigten Strahlen des Sternes das Uebergewicht über diejenigen erhalten, welche entweder direct oder durch Zerstreuung denselben Punkt erhellen.

Wir wollen nach dem, was wir früher gesagt haben (3. Buch, 12. Kap., S. 97), noch bemerken, daß unter den besondern Verhältnissen, die wir hier voraussetzen, ein Weitsichtiger dort sehr deutlich Sterne sehen kann, wo ein Kurzsichtiger keine Spur davon erkennt.

Neuntes Kapitel.

Ueber die Sichtbarkeit der Sterne am hellen Tage.

Die Führer versicherten Sauſſure, daß man auf dem Gipfel des Montblanc am hellen Tage mit bloßem Auge Sterne sehe; er selbst bemühte sich nicht die Wahrheit dieser Behauptung zu prüfen. (4. Bd. der Neufchatel. Ausg. in 4. S. 199.)

Die Beobachtung der Führer des berühmten genfer Reisenden[7]) könnte zum Beweise dafür dienen, daß das atmosphärische Licht das Haupthinderniß beim Sehen von selbstleuchtenden, jenseit der obersten Grenze der Atmosphäre befindlichen Gegenständen sei, denn es ist allgemein bekannt, daß der Himmel von hohen Bergen aus schwärzer und weniger leuchtend erscheint, als in der Ebene.

Cardani rühmte sich die übernatürliche Gabe zu besitzen, den Himmel am hellen Tage sternbesäet zu sehen; da er sich indessen auch das Vermögen zuschrieb, in die Zukunft zu sehen, und zu hören was man in seiner Abwesenheit von ihm sagte, so dürfen wir seine erstere Behauptung unbedenklich den Träumereien zuzählen, von denen die Biographen des berühmten Geometers ein so umfängliches Ver-

zeichniß aufzustellen hatten. (Man sehe die Notiz über Cardani von Herrn Frank im Moniteur vom 7. October 1844.)

Gehen wir über zu den mit Fernröhren angestellten Beobachtungen Morin's [8]).

Morin sah die Sterne mit einem Fernrohre nach Sonnenaufgang gegen Ende des Märzmonats 1635.

Das erste Mal war Arctur im Westen eine halbe Stunde nach Sonnenaufgang noch sichtbar. „Darüber hatte ich eine so große Freude," sagt Morin, „daß ich fast Fernrohr und Instrument umgeworfen hätte."

Am nächsten Morgen sah Morin die Venus in Sichelgestalt noch eine Stunde und länger nach Sonnenaufgang.

Ueber die Möglichkeit, die Sterne bei vollem Sonnenscheine zu sehen, war der Astrolog Morin ganz außer sich, und schrieb sein Glück einem übernatürlichen Einflusse zu. „Eines Nachts," erzählt er, „betrachtete ich die Jupitersmonde, als ein Himmelsbote zu mir geflogen kam, und mich folgendermaßen anredete: — Warum willst Du Deine Augen unnütz anstrengen, mit diesem Instrumente Mond, Sonne und Jupiter zu betrachten? Ueberlaß Anderen diese Unterhaltungen, und wende Dich nützlicheren Dingen zu, für welche Du bestimmt bist. Wenn Du meinen Rath befolgst, ist Dir ein größerer Ruhm beschieden, denn Du sollst am hellen Tage die Planeten und die Hauptsterne sehen, die kein Sterblicher bisher anders als bei Nacht gesehen hat."

Die sechste Abtheilung der Scientia longitudinum, in der sich diese Stelle findet, ist nach Fouchy im Jahre 1635 gedruckt (vergl. die Memoiren der Akademie von 1787, S. 391), nach Delambre dagegen 1636 (Histoire de l'Astr. mod. II. Bd. S. 254).

Morin hatte sein Werk den berühmten Astronomen seiner Zeit zugesandt, unter Andern auch Galilei.

In einem Briefe an Lorenzo Realio vom Jahre 1637 erzählt Galilei, daß man mit seinen vervollkommneten Fernröhren Jupiter den ganzen Tag hindurch sehe (si vede tutto il giorno), ebenso wie Venus, die übrigen Planeten und einen großen Theil (buona parte) der Fixsterne. (Galilei, S. 312 des 7. Bds. der Mailänder Ausgabe.)

Im Jahre 1637 wurde Galilei zu Arcetri von einem Augenfluſſe befallen, der ihn faſt blind machte; es müſſen alſo die von ihm angeführten Planeten- und Sternbeobachtungen am hellen Tage älteren Datums ſein, aber aus welcher Zeit rühren ſie her?

Galilei drückt ſich zu kurz und allgemein aus. Jupiters Sichtbarkeit während des ganzen Tages, beſonders mit Hülfe eines kleinen, nur dreißig Mal vergrößernden Fernrohrs hängt vom Winkelabſtande des Planeten von der Sonne ab, und dieſes Umſtandes hätte Galilei, meiner Meinung nach, in dem Berichte über ſeine Tagbeobachtungen erwähnen ſollen.

Wenn man übrigens, was bis auf wenige, ſeltene Ausnahmen jederzeit geſchehen muß, Prioritätsfragen nur nach dem Datum der Veröffentlichungen entſcheidet, ſo iſt klar daß man nothwendig bis auf Morin zurückgehen muß, um die erſte authentiſche Beobachtung eines am hellen Tage geſehenen Sternes zu finden.

Man hatte vermuthlich dieſe Beobachtung ſogar in Frankreich vergeſſen, denn in der Geſchichte der Akademie wird uns berichtet, daß Picard am 3. Mai 1669 ſehr überraſcht darüber war, die Meridianhöhe des Löwenherzen (Regulus) beinahe 13 Minuten vor Sonnenuntergange beobachten zu können.

Am 13. Juli deſſelben Jahres beobachtete Picard des Arctur Meridianhöhe, während die Sonne noch 17 Grad Höhe hatte.

Picard ſelbſt datirt ſeine Entdeckung der Sichtbarkeit der Sterne am hellen Tage vom Jahre 1668. (Siehe die in der Akademie im October 1669 geleſene Abhandlung.)

In einem Briefe Picard's an Hevel vom 16. November 1674, deſſen Ueberſetzung jedoch erſt im Jahre 1787 erſchienen iſt, führt der franzöſiſche Aſtronom es als eine Beobachtung an, die vor ihm Niemand in den Sinn gekommen wäre, die Höhe der Venus am 16. April 1670 wenige Zeit vor Mittag beobachtet zu haben. Picard erinnert den danziger Aſtronomen daran, daß er mit ſeinen aſtronomiſchen Dioptern (d. h. mit ſeinen Fernröhren) die Mittagshöhen der helleren Sterne kurze Zeit vor oder nach Mittag beobachte. (Memoiren der Akademie der Wiſſenſchaften vom Jahre 1787, S. 398.)

In dem Buche, welches Derham im Jahre 1726 unter dem Titel:

Philosophical experiments and observations of the late eminent doctor Robert Hooke veröffentlichte, finde ich auf S. 257 eine Vorleſung des berühmten Phyſikers, die vom Februar 1693 datirt iſt, und leſe darin auf S. 265 Folgendes:

„Mittelſt des Teleſkops habe ich die Parallaxe der Erdbahn entdeckt, ſowie die Sichtbarkeit der Fixſterne zu allen Tageszeiten.“

So wie ich ihn verſtehe, führte Hooke dieſe Entdeckung aufs Jahr 1677 zurück; demnach fiele ſie zweiundvierzig Jahre ſpäter als Morin's Beobachtungen, und iſt acht Jahre neuer als die in den Memoiren der Akademie gedruckte Anzeige der Picard'ſchen Entdeckung. Von dieſer Seite iſt alſo eine Reclamation ganz unzuläſſig, und eine Bemerkung von Seite Derham's wäre hier ſicher am Orte geweſen.

Ich bemerke noch, daß Hooke zu Freshwater auf der Inſel Wight im Jahre 1635 geboren wurde, in demſelben Jahre, wo Morin zuerſt die Sterne am hellen Tage erblickte. (Geſtorben iſt er im Jahre 1702.)

Zehntes Kapitel.

Ueber das Funkeln der Sterne.

Für den mit bloßem Auge Beobachtenden beſteht das Funkeln aus den ſehr häufig wiederkehrenden Aenderungen des Glanzes der Sterne. Meiſt werden dieſe Aenderungen begleitet von Farbenveränderungen, von Verſchiedenheiten im ſcheinbaren Durchmeſſer der Sterne oder in den Längen der divergirenden Strahlen, die nach allerlei Richtungen von ihrem Mittelpunkte auszugehen ſcheinen. Im Fernrohre zeigt ſich das Funkeln mit eigenthümlichen Erſcheinungen. Dies Phänomen hängt mit den beſondern Eigenſchaften zuſammen, welche die verſchiedenen Strahlen beſitzen, die das weiße Licht zuſammenſetzen, ſich mit verſchiedenen Geſchwindigkeiten durch die atmoſphäriſchen Schichten fortzubewegen und das, was man Interferenzen nennt, hervorzubringen. Der Erklärung dieſer merkwürdigen Thatſache, mit welcher ſich die Mehrzahl der Aſtronomen beſchäftigt hat, habe ich einen ganzen Aufſatz gewidmet; denſelben zu wiederholen, möchte hier zu weitläufig

ſein, und ich halte es für unnütz einen Auszug daraus zu geben. Es wird genügen hier zu bemerken, daß die ſchnellen Wechſel in Helligkeit und Farbe, welche wir an den Fixſternen bemerken, ſich heutzutage an die bekannten phyſikaliſchen Geſetze anknüpfen laſſen, und insbeſondere an die Geſetze der Interferenz des Lichtes. Die mehr oder weniger unbeſtimmten Erklärungen des Flimmerns, wie ſie von verſchiedenen Aſtronomen aufgeſtellt worden, ſind unzuläſſig, weil ſie nicht den Grund nachweiſen, weshalb die Planeten nicht oder beinahe nicht funkeln, warum gewiſſe Sterne weniger funkeln als andere, und warum Reinheit des Himmels und niedere Temperatur der Nächte die Pracht des Phänomens ſteigern [9]).

Anmerkungen der deutſchen Ausgabe.

Zum fünften Buch.

1. S. 165. Dieſe allen beobachtenden Aſtronomen wohlbekannte Thatſache bedarf noch einer gründlichen phyſiologiſchen Unterſuchung, weil es für die Kenntniß des Auges ſehr wichtig iſt zu wiſſen, welches die empfindlichſten Theile der Netzhaut ſind. Der Winkel, den zum deutlichſten Sehen lichtſchwacher Objecte der Lichtſtrahl mit der Augenare machen muß, wird nicht nach allen Richtungen um die macula lutea herum gleich groß ſein; es ſcheint nach einigen Verſuchen, daß er in einer gewiſſen Richtung 12 bis 13 Grade beträgt.

2. S. 166. Ovidii Fast. IV, 170. Vergl. auch über die Sichtbarkeit der einzelnen Sterne der Plejadengruppe für das bloße Auge Humboldt, Kosmos III, S. 65 und 110.

3. S. 166. Im Jahre 1842, Comptes rendus XV, S. 751.

4. S. 176. Siehe Anm. 31 zum 4. Buch, S. 160.

5. S. 176. Hist. natur. II, c. 14.

6. S. 177. Auch in der zweiten Ausgabe, Outlines of Astronomy §. 61, S. 44. Vergl. Humboldt, Kosmos III, S. 115, Anm. 21.

7. S. 178. Humboldt, Kosmos III, S. 71, 72.

8. S. 179. Ueber Joh. Bapt. Morinus ſiehe außer Bailly und Delambre, Käſtner's Geſch. der Math. IV. S. 456 u. f.

9. S. 182. Ueber das Funkeln der Sterne nach Arago's Auffaſſung der Erſcheinung handelt der dritte Theil des Kosmos, S. 85—87 und S. 122—124. Vergl. auch Lalande, Astronomie, 3. édit. §. 2812—2814.

Sechstes Buch.

Von der täglichen Bewegung.

Erstes Kapitel.

Definition des Horizonts. — Tägliche Bewegung. — Diese Bewegung geschieht im Ganzen, als ob die Sterne an einer festen Kugel angeheftet wären.

Denken wir uns den Beobachter zuerst an einem Orte, wo Nichts seinen Blick beschränkt, etwa am Meeresufer, oder mitten in einer hügellosen Ebene ohne irgend ein Gebäude, so wird ihm der Himmel wie ein abgeflachtes Gewölbe erscheinen, das mit kreisförmigem Umfange auf der Erde ruht*).

Dieser kreisförmige Umfang, die scheinbare Durchschnittslinie von Himmel und Erde, die nach allen Seiten hin den Beobachter umgibt, und in deren Mittelpunkt er sich befindet, heißt der irdische oder scheinbare Horizont. Wir wollen versuchen, ob man eine geometrische Definition des Horizonts aufstellen kann, und ob man, wenn der Horizont durch ein Hinderniß verdeckt würde, an einem gegebenen Orte die Richtung derjenigen Gesichtslinie bestimmen könnte, welche nach den unsichtbaren Punkten gerichtet ist.

Zu dem Zwecke befestigen wir ein hinreichend schweres Gewicht an einen sehr biegsamen Faden; die Richtung des Fadens wird dieselbe bleiben, welcher Art das Gewicht sein mag: man nennt diese

*) Ich bemerke sogleich, daß dies Gewölbe nicht wirklich vorhanden ist, sondern auf einer bloßen Täuschung beruht, die von den optischen Eigenschaften der uns umgebenden Luft herrührt.

Richtung die Verticale des Beobachtungsortes. Der Punkt des Himmels über dem Kopfe des Beobachters, in welchem diese Verticale unendlich verlängert die Himmelskugel trifft, wird Zenith genannt, und derjenige Punkt, auf den dieselbe in entgegengesetzter Richtung die verlängerte Verticale treffen würde, heißt Nadir*). Eine auf der Verticallinie senkrecht stehende Linie, gleichviel nach welchem Punkte sie gerichtet sein mag, wird horizontal genannt, und diejenige Ebene, welche die Gesammtheit der auf der Verticalen senkrecht stehenden, durch einen Punkt derselben gehenden Linien in sich faßt, heißt Horizontalebene.

Man nehme nun an, daß man an einem gegebenen Orte, wo der irdische Horizont nach allen Seiten hin sichtbar ist, im Boden ein unbiegsames, genau dem Bleilothe paralleles Lineal aufgestellt habe, das um sich selbst gedreht werden kann, ohne aus der verticalen Lage zu kommen. An die verticale Fläche desselben lege man nun den einen Arm eines Winkelmaaßes an, so wird man finden, daß ein gewöhnliches Diopter oder ein teleskopisches Diopter, das am andern Arme des Winkelmaaßes befestigt ist, nach jeder beliebigen Richtung nur äußerst wenig über den Horizont hinweist; der Punkt, auf den diese Gesichtslinie gerichtet ist, wird umsoweniger vom eigentlichen Horizonte entfernt sein, je geringer die Höhe über dem Boden ist, in welcher sich der Beobachter befindet. Man kann sogar ohne merklichen Fehler sagen, daß für geringe Höhen des Beobachters, die auf der Verticallinie senkrechten Linien in allen Richtungen im Horizonte endigen. Zufolge dieser durch alle Beobachtungen bewährten Bemerkung läßt sich überall auf der Erde die Stellung der nach dem Horizonte gerichteten Linien angeben, auch wenn materielle Hindernisse denselben unsichtbar machen.

Der irdische Horizont, der, wie schon bemerkt, sehr nahe eine Ebene ist, bezeichnet die Grenze, welche die sichtbaren Objecte von den nicht sichtbaren trennt; Alles was sich unterhalb dieser Grenze ereignet, ist unsichtbar. Man denke sich nun einen Beobachter an einem Orte, wo der Horizont nach keiner Seite hin verdeckte ist, z. B. in einer Ebene in der Nähe von Paris; sein Gesicht sei zuerst nach derjenigen

*) Beide Worte kommen aus dem Arabischen.

Gegend auf der Erde gerichtet, die man Mittag oder Süd genannt hat, d. h. nach der Gegend, in welcher die Sonne um die Mittagszeit steht; alsdann wird Osten zu seiner Linken liegen, Westen zu seiner Rechten, und Norden hinter ihm. Diese vier Punkte, nämlich Süd, Nord, Ost, West heißen die Hauptpunkte; wie man ihre Lage genau findet, soll bald gezeigt werden.

Den Horizontalwinkel, den eine nach irgend einem Punkte des Horizonts gerichtete Linie mit der nach dem Hauptpunkte Süd gerichteten Linie macht, nennt man einen Azimutalwinkel; mitunter werden diese Winkel auch vom Nordpunkte aus gerechnet, und aus diesem Grunde darf der Beobachter nie unterlassen anzugeben, ob ein im Horizonte herumgezählter Azimutalwinkel vom Süd- oder vom gegenüberliegenden Nordpunkte gerechnet wird, und ebenso ob man ihn nach rechts oder nach links rechnen soll, nach Osten oder nach Westen von einem der beiden Anfangspunkte an.

Richtet der nach Süden gewendete Beobachter seinen Blick nach Osten, so wird er die Sterne nach und nach sichtbar werden sehen sobald sie im Horizonte Punkte erreichen, welche man die Aufgangspunkte nennt; hierauf sieht er die Sterne stufenweise zu untereinander ungleichen Höhen aufsteigen, dann hinabsinken gerade so wie sie aufgestiegen waren; endlich erreichen sie den Horizont und verschwinden an Punkten, welche die Untergangspunkte heißen.

Die irdischen Gegenstände in deren Richtung ein Gestirn auf- oder untergeht, bleiben nahezu dieselben wenn man die Beobachtung an einem bestimmten Orte anstellt, und dies gilt nicht nur für mehrere Tage hintereinander, sondern für die ganze Lebensdauer des Beobachters.

Wendet sich der Beobachter hierauf nach Norden, so sieht er dieselbe Reihenfolge der Erscheinungen: im Osten gehen die Sterne auf und im Westen unter, in Punkten die ebenso unveränderlich sind, wie auf der Südseite. Im Süden hatte er Sterne bemerkt, die sich nur wenige Augenblicke hindurch über dem Horizonte zeigten, die schon untergingen nachdem sie kaum aufgegangen waren; dagegen wird er auf der Nordseite Sterne bemerken, die schon wieder aufgehen nachdem sie kaum untergegangen waren. Die Erscheinungen im Süden mußten

auf die Vermuthung führen, es möchten Sterne vorhanden sein, welche in ihrem täglichen Umlaufe den Horizont nicht erreichen, und in der That, diese Vermuthung ist durch die Beobachtung bestätigt worden. Auf der Nordseite wird man Sterne bemerken, deren Winkelhöhe über dem Horizonte sich zwar unaufhörlich mit der Beobachtungsstunde ändert, die aber weder aufgehen noch untergehen, solche Sterne mit einem Worte, die niemals den Horizont erreichen. Endlich findet man, wenn man immer noch diese Himmelsgegend ins Auge faßt, Sterne deren Bewegung zwar stets von Osten nach Westen gerichtet, dennoch aber kaum merklich ist.

Diese allgemeine Bewegung, welche alle Gestirne mit einer scheinbar größeren oder geringeren Geschwindigkeit von Osten nach Westen herumführt, heißt die tägliche Bewegung.

Wir haben uns bisher den Beobachter bei Paris gedacht; jetzt mag er sich in einem südlicheren Punkte der Erde, etwa zu Bourges befinden; die Erscheinungen der täglichen Bewegung werden daselbst genau so wie zu Paris eintreten. Nur wird man in diesem zweiten Standpunkte an der Südseite des Himmels Sterne bemerken, die im ersten Orte unsichtbar waren, indem sie daselbst stets unter dem Horizonte blieben; in der nördlichen Himmelsgegend dagegen werden sich Sterne, deren täglicher Lauf zu Paris gänzlich über dem Horizonte lag, wenn man sie zu Bourges beobachtet, einige Augenblicke unter dem Horizonte verbergen, während andere Sterne, die zu Paris eine gewisse Zeit verborgen blieben, auf dem neuen Standpunkte längere Zeit hindurch verschwinden werden.

Diese Erscheinungen sprechen sich um so deutlicher aus, je weiter sich der Beobachter von Norden nach Süden begibt; erklären kann man sie offenbar nur wenn man annimmt, daß die Horizonte verschiedener Orte auf der Erdoberfläche untereinander nicht parallel sind, und daß die Verticallinien, auf denen diese Horizonte senkrecht stehen, sich ebenso wie die Horizonte gegen Mittag neigen, je weiter man in dieser Richtung fortgeht. Indem sich diese Horizonte nun gegen Mittag neigen, erreichen sie Sterne, deren ganze Bahn unter dem ersten Horizonte lag, und diese Drehung erhebt die entgegengesetzte Seite bis zu Sternen,

welche den urſprünglichen Horizont ſo wenig bei Tage als bei Nachte erreichten.

Wir dachten uns den Beobachter bisher ohne Inſtrumente; jetzt aber wollen wir ihn mit einem Apparate ausrüſten, mit dem er die Winkeldiſtanz zweier Sterne meſſen kann, d. h. wir wollen ihm zwei Diopter geben (Fig. 87) oder zwei Fernröhre (Fig. 88), beide um einen gemeinſchaftlichen Mittelpunkt drehbar, und beide untereinander durch einen getheilten Kreisbogen verbunden. Angenommen der Beobachter beſtimme mittelſt dieſes Inſtruments die Winkeldiſtanz zweier wenig voneinander entfernten Sterne kurze Zeit nach ihrem Aufgehen, erneuere dieſe Beobachtung nachdem beide Sterne durch die tägliche Bewegung in mehr oder weniger beträchtliche Höhen gekommen ſind, und wiederhole dieſe Beobachtung beliebig oft, wenn die Sterne ſich dem Horizonte zum Untergehen nähern: ſtets wird die Winkeldiſtanz unverändert bleiben.

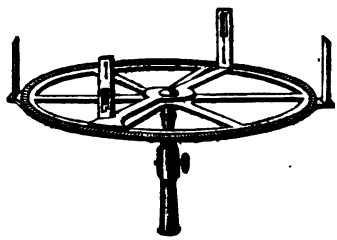


Fig. 87. — Meſſung der Winkeldiſtanzen der Sterne mittelſt Dioptern.

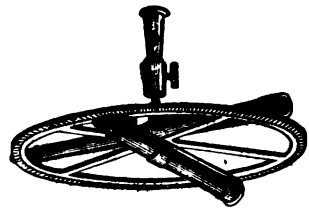


Fig. 88. — Meſſung der Winkeldiſtanz der Sterne mittelſt zweier Fernröhre.

Dieſe Thatſache mußte umſomehr einer Prüfung unterworfen werden, als die Winkeldiſtanz zweier Sterne, infolge einer optiſchen Täuſchung, deren Urſache wir anzugeben ſpäter verſuchen wollen, um ſo größer erſcheint, je näher dieſe Sterne dem Horizonte ſind. Wenn wir annehmen, daß man ſtatt zwei benachbarte Sterne miteinander zu vergleichen, zwei ſehr weit entfernte ausgewählt hat, ja ſogar ſolche welche die entfernteſten Himmelsgegenden einnehmen, ſo wird dennoch die tägliche Bewegung nicht die Winkeldiſtanz ändern, welche ſie trennt; dieſe Diſtanz wird alſo nicht die geringſte Abänderung erfahren.

Die tägliche Bewegung geschieht also ganz gemeinschaftlich von Osten nach Westen, genau so als wären die Sterne unveränderlich an einer festen Kugelschale befestigt, in deren Mittelpunkte sich der Beobachter befände. Letztere Folgerung geht nicht weniger nothwendig als die erstere aus den Beobachtungen hervor; es leuchtet in der That ein, daß die Winkeldistanz der Sterne nur dann zu allen Tagesstunden dieselbe sein kann, wenn sie stets vom Mittelpunkte der Kugel aus beobachtet wird, d. h. von einem Punkte aus, der gleichweit von allen denjenigen absteht, welche die Sterne nach und nach auf der Oberfläche einnehmen.

Zweites Kapitel.

Anfertigung eines Himmelsglobus oder einer genauen Darstellung des Firmaments. — Die Sterne erhielten den Namen Fixsterne infolge der Vergleichung der neueren Himmelskugeln mit denen des Hipparch. — Erste Folgerungen, zu denen diese Vergleichung führt, in Betreff der unermeßlichen Entfernungen der Fixsterne von der Erde.

Nehmen wir uns jetzt vor eine genaue Darstellung des Himmels zu geben, so wird uns die Messung der Winkeldistanzen zum Ziele führen. Man verschaffe sich eine Kugel aus Pappe, so wird dies im Kleinen ein Bild des Sternhimmels sein; als Ausgangspunkt, als Absehenspunkt wähle man den hellsten Stern am Firmamente, denjenigen der Sirius genannt wird; einen ganz beliebigen Punkt auf der künstlichen Kugel nehme man als diesem Sterne entsprechend an. Soll nun ein zweiter Stern auf der Kugel dargestellt werden, so messe man mit dem vorhin angewandten Instrumente (Fig. 87 und 88, S. 187) den Winkelabstand dieses zweiten Sternes vom Sirius. Beträgt derselbe, wie ich annehme, 10 Grade, so lege man einen Bogen von 10° im größten Kreise genau an die künstliche Kugel an, dergestalt daß ein Ende desselben mit dem Punkte zusammenfällt, der Sirius vorstellt; dreht man hierauf diesen Bogen um Sirius als Mittelpunkt, so beschreibt das andere Ende auf der Kugelfläche die ganze Reihenfolge von Punkten, die alle 10° von Sirius entfernt sind. Auf einen

dieſer Punkte, die ſämmtlich, wie Jeder leicht einſieht, auf einem kleinen Kugelkreiſe liegen, wird man nothwendiger Weiſe den zweiten Stern ſetzen müſſen. Ganz willkürlich iſt alſo ſein Ort nicht mehr, wie vorhin der Ort war, den man dem Sirius gab, ſondern der Ort des zweiten Sterns befindet ſich irgendwo auf dem ſoeben beſprochenen Kreiſe und nirgend anders. Nun wähle man einen dieſer 10° vom Sirius entfernten Punkte, um den zweiten Stern darzuſtellen, ſo iſt damit Alles beſtimmt, und Nichts in unſerer Zeichnung fernerhin willkürlich. In der That, wollen wir einen dritten Stern eintragen, deſſen Winkelabſtände vom Sirius und vom zweiten Sterne man mittelſt unſers Inſtruments beiſpielsweiſe 15° und 12° gefunden hat, ſo wird man zunächſt mit einem Bogen von 15° um Sirius als Mittelpunkt den Umfang eines Kreiſes beſchreiben, auf welchem dieſer dritte Stern nothwendig gelegen ſein muß; ferner beſchreibe man mit einem Bogen von 12°, der ſich um den zweiten Stern als Mittelpunkt dreht, einen andern Kreis, der einen der Punkte beſtimmt, welche der dritte Stern nothwendig einnehmen muß. Wir haben aber ſchon geſehen, daß dieſer Stern ſich auf dem um Sirius mit dem Bogen von 15° beſchriebenen Kreiſe befinden mußte; dem Durchſchnittspunkte dieſer beiden Kreiſe allein kommt alſo die Eigenſchaft zu, wie der dritte Stern vom Sirius 15° und vom zweiten Sterne 12° entfernt zu ſein: ſein Ort iſt alſo durch dieſe Conſtruction vollſtändig beſtimmt*).

Mißt man hierauf die Winkelabſtände eines vierten Sterns von zweien der bereits eingezeichneten, ſo hat man die Grundlagen zu einer der bereits ausgeführten ganz ähnlichen Conſtruction, welche uns die Lage des vierten Sterns ebenſo angibt, wie die des dritten gefunden worden war, und in dieſer Weiſe kann man das Verfahren auf den ganzen Himmel anwenden.

Eine ſolche Operation, nämlich die Meſſung der Winkelabſtände von 1026 Sternen, iſt 120 Jahre vor unſerer Zeitrechnung durch Hipparch auf Rhodos ausgeführt worden; ſie bietet alſo, wie man

*) Die beiden Kreiſe werden ſich zwar in zwei Punkten ſchneiden, indeſſen braucht man nur zu wiſſen, nach welcher Richtung hin, ob vorwärts oder rückwärts gegen die beiden andern Sterne der dritte Stern liegt, um über die Wahl eines der beiden Durchſchnitte nicht zweifelhaft zu ſein.

ſteht, alle nothwendigen Grundlagen, um eine genaue Darſtellung des Sternhimmels für jene entlegene Epoche zu entwerfen. Die Vergleichung dieſer Darſtellung mit dem Himmel, wie er uns jetzt erſcheint, führt zu einem merkwürdigen Ergebniſſe: die Sterne nehmen nämlich heutzutage untereinander nahezu dieſelben Stellungen ein, welche ſie vor etwa zweitauſend Jahren hatten; in dieſem Zeitraume haben ſich ihre Winkelabſtände nur unmerklich geändert; daher rührt die Benennung Fixſterne, mit der man die eigentlichen Sterne bezeichnet.

Hipparch hatte ſeine Beobachtungen zu Rhodos und zu Alexandrien angeſtellt; die Beobachtungen, die wir mit jenen vergleichen, ſind zu Paris oder, wenn man will, etwa zu Stockholm in Schweden angeſtellt. Der Beobachter zu Stockholm befand ſich näher bei den nördlichen Sternen als der Beobachter zu Alexandrien: wie ſoll man ſich das Gleichbleiben der Winkelabſtände erklären? Scheint es nicht nach den allereinfachſten Grundſätzen der Geometrie, daß der ſtockholmer Beobachter bei den nördlichen Sternen einen größern Winkelabſtand, und bei den ſüdlichen einen kleineren finden müßte, als der griechiſche Beobachter? Bei einer ſorgfältigen Erwägung dieſer Schwierigkeit kommt man zu ſehr merkwürdigen Folgerungen über die geradlinige Entfernung der Sterne von der Erde.

Genau genommen hätten die Beobachter zu Stockholm und zu Alexandrien allerdings verſchiedene Werthe finden müſſen bei der Meſſung der Winkelabſtände von Sternen, die ungleich weit von dieſen beiden Städten entfernt ſind, doch könnte der Unterſchied möglicher Weiſe kleiner ſein als die Unſicherheit, die in den Beobachtungen liegt; denn man darf nicht vergeſſen, daß ſich keine Beſtimmung mittelſt materieller Inſtrumente mit mathematiſcher Genauigkeit erhalten läßt. Betrachten wir nun die vorliegende Frage von dieſem Geſichtspunkte aus.

Wir wollen annehmen eine Bogenſecunde ſei die äußerſte Grenze der Genauigkeit, welche man bei einer Winkelmeſſung erreichen kann, und der Beobachter zu Stockholm beſtimme den Winkelabſtand zweier nördlichen Sterne und finde denſelben beiſpielsweiſe 4000″; hierauf reiſe dieſer Beobachter ſolange in der Richtung nach Süden, bis der geradlinige Abſtand von den beobachteten Sternen um 1000 Meilen

größer geworden, als er in der ersten Station war; betragen dann diese 1000 Meilen den 4000sten Theil der Entfernung in gerader Linie von den Sternen bis nach Stockholm, so wird der Winkel, unter welchem die beiden Sterne vom zweiten Standpunkte aus erscheinen, um $^1/_{4000}$ kleiner sein, als er vom ersten Punkte aus erschien: er wird folglich nur 3999″ betragen. Soll dagegen, während man sich von Stockholm an den zweiten Beobachtungsort begibt, der Winkel sich nicht um 1″ ändern, so dürfen 1000 Meilen nicht den 4000sten Theil des Abstandes in gerader Linie von den Sternen bis Stockholm ausmachen. Wiederholt man nun dieselben Operationen von Punkt zu Punkt, so findet man zwischen beiden Stationen dieselbe Winkeldistanz ohne Aenderung einer einzigen Secunde; es ist somit streng bewiesen, daß der geradlinige Abstand der zu Stockholm beobachteten Sterne größer ist als 4000 multiplicirt mit 1000, oder größer als 4000000 Meilen.

Man muß wohl bemerken, daß wir nur eine Grenze gefunden haben, innerhalb welcher die beobachteten Sterne nicht liegen; offenbar könnten ihre wirklichen Abstände viele tausend Male größer sein als die angegebene Grenze.

Diese Grenze haben wir unter sehr ungünstigen Verhältnissen festgesetzt, indem wir als Zielpunkte Sterne auswählten, die nur durch so wenige Secunden von einander getrennt waren. Wir wollen daher jetzt zu Stockholm zwei in der nördlichen Gegend belegene Sterne auswählen, welche diesmal 40000″ von einander abstehen sollen; darauf wollen wir uns in eine zweite, südlichere Station begeben, woselbst wir von denselben Sternen um 1000 Meilen weiter entfernt sind. Betragen diese 1000 Meilen den 40000sten Theil der ursprünglichen Entfernung in gerader Linie, so muß der Winkel zwischen den nach beiden Sternen gerichteten Gesichtsstrahlen auf der zweiten Station um $^1/_{40000}$ kleiner sein, als auf der ersten, und folglich 39999″ betragen. Nun findet man aber 40000″ bis auf einen kleinen Bruchtheil, den die Instrumente weder angeben noch zu sehen gestatten. Der geradlinige Abstand dieser beiden Sterne von Stockholm übertrifft mithin die Schätzung, welche uns auf eine Abnahme der Winkeldistanz um 1″ geführt hatte, d. h. 1000 Meilen machen noch nicht den 40000sten Theil aus von der geradlinigen Entfernung der beobachteten

Sterne von Stockholm, oder dieſe Entfernung beträgt, mit andern Worten, mehr als 40000 Mal 1000 Meilen oder mehr als 40000000 Meilen.

Dieſe Rechnungen mögen hier genügen, da wir nur beabſichtigten zu zeigen, wie ſchon die erſten Vorſtellungen von der täglichen Bewegung uns auf mathematiſchem Wege zu überraſchenden Ergebniſſen über die Entfernung der Fixſterne führen. Die weiter ausgebildete Aſtronomie wird uns ſpäter Mittel an die Hand geben, viel größere Grundlinien anzuwenden, und ſo zu Reſultaten zu gelangen, welche die Einbildungskraft kaum zu faſſen vermag.

Drittes Kapitel.

Beobachtung der täglichen Bewegung mit einem Theodoliten. — Definition des Meridians; verſchiedene Mittel ihn zu beſtimmen. — Weltaxe. — Welche krummen Linien von den Sternen beſchrieben werden. — Parallelkreiſe am Himmel. — Himmelsäquator.

Die erſten Begriffe, die wir uns von der täglichen Bewegung erworben haben, ſollen jetzt weiter ausgebildet werden; zu dieſem Zwecke bedienen wir uns eines Inſtruments, das unter dem Namen Theodolit*) bekannt iſt (Fig. 89, S. 193), und das aus zwei getheilten Kreiſen beſteht, welche zugleich zur Meſſung der horizontalen und der verticalen Winkel dienen.

Man richte das Fernrohr des Theodoliten auf den Punkt des Horizonts, wo ein Stern aufgeht, und danach auf den Punkt des Untergangs deſſelben Sternes. Beim Uebergange aus der erſten Lage des Fernrohrs in die zweite wird die Alhidade des Kreiſes eine gewiſſe Anzahl von Graden auf der Theilung durchlaufen; man theile dieſen Bogen in zwei gleiche Theile, ſtelle die Alhidade auf den Halbirungspunkt und ſehe, welches irdiſche Object ſich in der Richtung des Fernrohrs am Verticalkreiſe befindet. Dieſelbe Beobachtung wiederhole man mit einem zweiten, einem dritten Sterne, oder mit beliebig vielen,

*) Von zwei griechiſchen Wörtern: θεω, ich ſetze; δολιχος, Länge[1]).

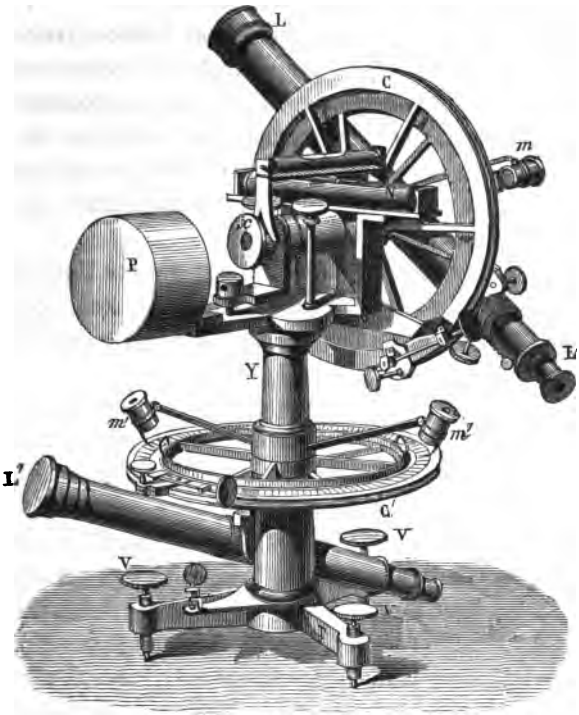


Fig. 89. — Froment'ſcher Theodolit*).

aber auf der Südſeite befindlichen Sternen, ſo wird die Alhidade, welche die ungleich langen Bogen zwiſchen den Aufgangs- und den Unter-

) T iſt der dreitheilige Fuß des Inſtruments, der auf drei Stellſchrauben V, V, V ruht. — C iſt der Verticalkreis, der auf einem ſilbernen Limbus in Grade und Theile des Grades getheilt iſt. Dieſem Kreiſe concentriſch dreht ſich eine Alhidade mit vier Berniers) (Nonien), deren Ableſung durch Loupen m, m erleichtert wird. Auf dieſer Alhidade befindet ſich auch das Hauptfernrohr L, deſſen Ocular mit

*) Vernier nennt man ein bewegliches Stück mit etwas kleineren Theilen verſehen, als die eines Maaßſtabes oder getheilten Kreiſes ſind; man bedient ſich deſſelben, um die Bruchtheile abzuleſen, die man ohnedies nicht mit Sicherheit erkennen könnte. Die Erfindung des Verniers iſt in einem zu Brüſſel im Jahre 1631 gedruckten Werke beſchrieben, welches folgenden Titel führt: La Construction, l'usage et les propriétés du cadran nouveau; der Verfaſſer iſt Peter Vernier, der aus Ornans in der Franche-Comté ſtammt 2).

gangspunkten halbirt, jedesmal dieſelbe Stellung einnehmen, und das Fernrohr des Verticalkreiſes wird immer auf daſſelbe irdiſche Object gerichtet ſein. Wenden wir uns gegen Norden, ſo werden wir finden, daß die Aufgangs- und Untergangspunkte der in dieſer Himmelsgegend belegenen Sterne gleichweit im Winkel von demjenigen Punkte im Horizonte abſtehen, der in der Verlängerung der einzigen Linie liegt, welche die Bogen im Horizonte zwiſchen den Aufgangs- und Untergangspunkten der ſüdlichen Sterne halbirt.

Es liegen alſo die Punkte des Aufgangs und des Untergangs der Sterne ſymmetriſch in Bezug auf eine Linie, deren Lage wir jetzt zu beſtimmen vermögen; übrigens können wir die Lage dieſer Linie durch eine Marke oder Mire ein für allemal feſtſetzen.

Wir kehren jetzt zu dem urſprünglich beobachteten Sterne auf der Südſeite zurück, und richten das Fernrohr des Theodoliten von Neuem auf ſeinen Aufgangspunkt, um den Stern in ſeinem aufſteigenden Laufe zu verfolgen.

Nachdem er eine gewiſſe Zeit hindurch geſtiegen iſt, erreicht er diejenige Gegend des Himmels, in welcher ſeine Höhe am größten iſt, ein Umſtand, den man daran erkennt, daß der Stern einige Augenblicke hindurch weder ſteigt noch ſinkt, ſondern eine horizontale Linie zu beſchreiben ſcheint; bald darauf beginnt er in derſelben Weiſe, wie er aufgeſtiegen war, niederzuſteigen und gelangt zu dem Punkte ſeines Untergangs. Man wird alsdann finden, daß die durch die Mitte der ſehr kleinen, von jedem Sterne zur Zeit ſeiner größten Höhe beſchriebenen Horizontallinie gelegte Ebene genau diejenige iſt, welche durch die Linie beſtimmt wird, die den Winkel der nach den Aufgangs- und

einem Fadennetze verſehen iſt. x iſt die horizontale Axe dieſer concentriſchen Kreiſe; P das Gegengewicht, welches das ganze obere Syſtem um die Axe Y ins Gleichgewicht ſetzt; die verticale Stellung dieſer Säule erlangt man mittelſt des Niveaus N und der Stellſchrauben V. — C′ iſt der Horizontalkreis, der dem Verticalkreiſe in Allem ähnlich iſt, aber nur zwei Verniers beſitzt, weil der Beobachter nicht den Kopf dem Limbus nahe genug bringen kann, um die Ableſung an vier verſchiedenen um 90° von einander entfernten Stellen zu machen. Die Alhidade des Horizontalkreiſes C′ trägt die Axe Y, die ſich, ſowie das ganze obere Syſtem, gemeinſchaftlich mit ihm umdreht. L′ iſt ein Verſicherungsfernrohr, um ſich zu überzeugen, daß der Kreis C′ des Inſtruments während der Beobachtung nicht verrückt worden iſt[3]).

Untergangspunkten gerichteten Geſichtslinien halbirt. Dieſe letztere Linie iſt, wie wir geſehen haben, ſchon durch eine irdiſche Marke beſtimmt. Stets wird man genau auf daſſelbe Reſultat kommen, gleichviel welcher Stern auf der Südſeite beobachtet worden iſt.

Die höchſten Punkte der Bahnen, welche die nördlichen Sterne infolge der täglichen Bewegung beſchreiben, liegen gleichfalls in einer und derſelben Ebene, und zwar in derjenigen, deren Lage wir ſoeben durch Beobachtung der Sterne auf der Südſeite beſtimmt haben. Dagegen hat man auf der Nordſeite Gelegenheit noch eine werthvolle Beobachtung hinzuzufügen: man kann nämlich noch die Ebene beſtimmen, in welcher die niedrigſten Punkte der von den nicht untergehenden Sternen beſchriebenen Bahnen liegen. Auch dieſe niedrigſten Punkte fallen in eine und dieſelbe Ebene, und zwar iſt es genau diejenige, deren Lage wir ſchon durch Beobachtung der höchſten Punkte gefunden haben. Die durch die irdiſche Marke gehende verticale Ebene, deren Lage wir ermittelt haben, alſo diejenige verticale Ebene, die den Horizont in einer geraden Linie ſchneidet, welche den Winkel der nach den Aufgangs- und Untergangspunkten jedes Sterns gerichteten beiden Linien halbirt; dieſelbe verticale Ebene endlich, welche die höchſten Punkte in der Bahn der ſüdlichen Sterne enthält, ebenſo wie die höchſten und tiefſten Punkte derjenigen Bahnen, welche die nördlichen Sterne beſchreiben: dieſe Ebene heißt die Meridianebene.

Die Lage dieſer Ebene haben wir durch die Punkte des Aufgangs und des Untergangs beſtimmt; doch dieſe Beobachtungen ſind unſicher, indem der Horizont in der Regel an einigen Punkten durch Objecte verdeckt, und überdies mit dicken Dünſten beladen iſt. Wir haben dieſe Ebene außerdem dadurch beſtimmt, daß wir den höchſten Punkt in der Bahn eines Sterns, zwiſchen Aufgang und Untergang beobachteten; aber auch dieſe Beobachtung iſt zweifelhaft, indem der Stern, wenn er ſeine größte Höhe erreicht, ſcheinbar einige Zeit in derſelben Höhe verweilt. Wir werden indeſſen die Lage der Meridianebene genauer beſtimmen können, wenn wir die folgenden, ſehr beachtenswerthen Beobachtungen anſtellen.

Wir wollen einen Stern im Theodolitenfernrohre vom Augenblicke ſeines Aufgangs an verfolgen, und die verticale Ebene beſtimmen, in

welcher er eine Höhe von beiſpielsweiſe 15° erreicht; hierauf beſtimmen wir die auf der andern Seite des Meridians gelegene Ebene, die der Stern einnimmt, wenn er in ſeinem abſteigenden Laufe von Neuem 15° Höhe erreicht. Man wird alsdann finden, daß dieſe beiden Ebenen gleichweit von der Meridianebene abliegen, oder daß, was genau daſſelbe ſagt, Alles im aufſteigenden und im niederſteigenden Theile der Bahn durchaus ähnlich iſt: die Gleichheit der Höhen kann uns alſo zur Beſtimmung des Meridians führen. Man ſieht leicht, daß wenn die ſoeben angegebene Methode, welche die Methode der correſpondirenden Höhen genannt wird, genauer iſt, als die auf Beobachtung der größten Höhe des Geſtirns gegründete, der Grund darin zu finden iſt, daß der Augenblick, in welchem der Stern 15° hoch ſteht, ohne Unſicherheit beſtimmt werden kann, indem die Aenderung dieſes Beſtimmungsſtücks ſehr beträchtlich iſt, ſobald man von der Stellung des Sterns in ſeiner größten Höhe einigermaßen entfernt iſt.

Der Punkt des Horizonts, in welchem die Horizontallinie des Meridians einſchneidet, wird, wie wir bereits oben geſehen haben, der aſtronomiſche Süden genannt; der dieſem im Horizonte genau gegenüberliegende Punkt heißt Norden; durch eine Linie, welche ſenkrecht auf der Nord-Südlinie ſteht, werden Oſten und Weſten beſtimmt. Auf dieſe Weiſe kann alſo, wie wir verſprochen hatten, ein Jeder an einem gegebenen Orte die Lage der vier Hauptpunkte finden, d. h. derjenigen Punkte, welche zur Orientirung der Objecte dienen.

Man würde vielleicht ohne Mühe, aus der Geſammtheit der von uns betrachteten Erſcheinungen, die Folgerung herleiten können, daß alle Geſtirne infolge der täglichen Bewegung Kreisumfänge beſchreiben; aber dieſe Wahrheit iſt zu wichtig, als daß wir dieſelbe nicht im Nächſtfolgenden einer directen Prüfung unterziehen müßten.

Ließen die Sterne eine leuchtende Spur hinter ſich zurück, ſo könnte man, wie beim Regenbogen, augenblicklich erkennen, in welcher Art von krummen Linien ſie ſich bewegen. Die Unterſuchung wird weniger kurz ſein, ſie wird ſogar einen ganzen Tag beanſpruchen, weil jeder Stern erſt nach Verlauf eines ganzen Tages alle Punkte der Bahn durchlaufen hat, die er infolge der täglichen Bewegung beſchreibt.

An welchen Merkmalen werden wir nun eine in der Entfernung gelegene krumme und zwar kreisförmige Linie von jeder andern krummen Linie, z. B. von einer Ellipſe unterſcheiden? Daran, daß für erſtere ein Punkt exiſtirt, der von allen Punkten ihres Umfangs gleichweit abzuſtehen ſcheint. Zum Beweiſe dieſer Gleichheit des Abſtands wird die Gleichheit der Geſichtswinkel dienen; auf dieſe Weiſe ſetzt man, bei Unterſuchung einer krummen Linie, in deren Ebene der Beobachter nicht gelangen kann, um daſelbſt die gewöhnlichen Verfahren anzuwenden, an die Stelle eines wirklichen Zirkels einen optiſchen Zirkel.

Ich mache nun darauf aufmerkſam, daß wenn ein nördlicher, niemals untergehender Stern einen Kreis beſchreibt, der ſcheinbare Mittelpunkt dieſer krummen Linie genau in der Mitte des Winkelraums zwiſchen ſeiner größten und kleinſten Höhe liegen muß. Beträgt die Höhenänderung 20°, ſo muß man den Mittelpunkt 10° unter dem höchſten und 10° über dem niedrigſten Punkte finden; überdies wird dieſer Mittelpunkt in der Meridianebene liegen. In dieſer Ebene wollen wir eine feſte Are annehmen, die nach jenem Halbirungspunkte gerichtet iſt, und ein Diopterlineal oder ein Fernrohr, das um die Are drehbar ſein ſoll, nach dem Punkte der größten Höhe des Sternes richten. Ein Diopter, welches in dieſer erſten Lage, unſerer Vorausſetzung gemäß, mit der beſprochenen Are einen Winkel von 10° macht, liegt in der Meridianebene. Der durch die tägliche Bewegung von Oſten nach Weſten fortgetriebene Stern wird nur einen Augenblick in der Richtung des Diopters verweilen; um alſo dem Sterne zu folgen, muß man das Diopter oder das Fernrohr in derſelben Richtung um die Are drehen. Dieſe eine Bewegung nun wird vollſtändig hinreichen; niemals wird der Beobachter genöthigt ſein das Fernrohr der inneren Are zu nähern oder es davon zu entfernen. Beide werden miteinander jederzeit einen Winkel von 10° machen, und die geradlinige Entfernung des Sterns von dem in der Meridianebene belegenen Punkte der Are erſcheint immer unter demſelben Winkel. Da dies Letztere, wie ſchon bemerkt, die Haupteigenſchaft eines Kreisumfangs iſt, ſo ſcheint alſo der Stern ſich in einer krummen Linie dieſer Art zu bewegen.

Nach Vollendung dieſer erſten Beobachtung wollen wir das Fernrohr von der unverrückt gebliebenen Axe weiter entfernen, ſo daß es mit derſelben etwa einen Winkel von 25° macht. Der Stern auf welchen das Fernrohr in dieſer neuen Stellung gerichtet iſt, wird eine größere Bahn beſchreiben, als der vorige; aber mit Anwendung deſſelben Verfahrens wird man finden, daß dieſe Bahn kreisförmig iſt, und daß ihr Mittelpunkt gleichfalls auf der Umdrehungsaxe des Fernrohrs liegt.

Durch ein ähnliches, auf die ſüdlichen Sterne angewandtes Beobachtungsſyſtem können wir uns überzeugen, daß derjenige Theil der Bahn, welchen dieſe Sterne über dem Horizonte zurücklegen, kreisförmig iſt, und daß der Mittelpunkt von jeder der krummlinigen Bahnen auf der nicht ſichtbaren Verlängerung derjenigen geraden Linie liegt, welche die Mittelpunkte der von den nördlichen Sternen beſchriebenen Bahnen enthielt.

An der Nordſeite des Himmels waren die Kreisumfänge um ſo kleiner, je kleinere Winkel das Fernrohr mit der Axe einſchloß; ganz ebenſo verhält es ſich mit den an der ſüdlichen Verlängerung der Axe angeſtellten Beobachtungen: beim Uebergange von einer der äußerſten Lagen des Fernrohrs in die andere gibt es eine Stelle, wo die von den Sternen beſchriebenen Kreisumfänge am größten ſind, und dieſer Fall tritt ein, wenn das Fernrohr auf der Umdrehungsaxe ſenkrecht ſteht.

Doch wir müſſen uns wieder zurückwenden, um nachträglich einige Definitionen feſtzuſtellen. Die Axe um welche die Umdrehung des geſtirnten Himmels zu geſchehen ſcheint, die Axe welche die Mittelpunkte aller von den Sternen infolge ihrer täglichen Bewegung beſchriebenen Bahnen enthält, wird die Weltaxe genannt.

Der in unſern Gegenden ſichtbare Punkt am Himmel, auf welchen die Weltaxe trifft, heißt der Nordpol oder der arktiſche Pol; der unter unſerem Horizonte verborgene Punkt, auf den ſie gleichfalls trifft, heißt der Südpol oder der antarktiſche Pol.

Parallelkreiſe nennt man am Himmel diejenigen Kreiſe, welche die Sterne beſchreiben: ihre Ebenen ſtehen ſenkrecht auf der Weltaxe, und ihre Mittelpunkte liegen auf dieſer Axe. In der Nähe des Nordpols werden die Parallelkreiſe ſehr klein, und ebenſo in der Nähe des Südpols. Der zwiſchenliegende Parallelkreis, welcher der

größte unter allen ist, wird der Aequator genannt: seine auf der Weltaxe senkrechte Ebene geht durch den Ort des Beobachters und durch die Hauptpunkte Ost und West; es ist dieselbe Ebene, auf die wir schon oben aufmerksam geworden sind.

Jetzt läßt sich die Meridianebene schärfer als bisher definiren; diese Ebene schließt überall die Weltaxe und die Verticallinie des Orts in sich ein, und dieser Umstand ist ausreichend um die Lage des Meridians zu bestimmen, weil eine Ebene durch zwei nicht parallele, sich schneidende Linien vollständig gegeben ist.

Der Beobachter, den wir uns bisher in Paris dachten, hat also gefunden, daß die Weltaxe durch diese Stadt geht; wir müssen aber sogleich hinzufügend bemerken, daß er überall auf der Erde, gleichviel welches der Schauplatz seiner Beobachtungen war, dasselbe würde gefunden haben. Was soll man aus diesem seltsamen Ergebnisse folgern? Der Schluß, den man daraus ziehen muß, bestätigt das, was wir bereits aus einer andern Gattung von Beobachtungen gefolgert haben, nämlich aus den gleichen Winkelabständen der Sterne an allen Orten, wo man die Beobachtung anstellt: ich meine die sehr geringe Größe der Erde verglichen mit der Entfernung der Fixsterne.

Allem Scheine nach geht die Weltaxe durch den Erdmittelpunkt; aber in Betracht der kleinen Unsicherheit, der alle Beobachtungen unterliegen, darf man ebensowohl annehmen, daß diese Axe durch irgend einen Punkt auf der ganzen Erdoberfläche hindurchgehe.

Viertes Kapitel.

Die Sterne durchlaufen die Parallelkreise (Parallele) mit gleichförmiger Geschwindigkeit.

Wir wollen jetzt annehmen, der Beobachter sei mit einer Taschenuhr oder mit einer gleichförmig gehenden Pendeluhr ausgerüstet, und wollen dies neue Hülfsmittel in Anwendung bringen, um den Lauf eines Sternes in den verschiedenen Theilen seines Parallelkreises zu untersuchen. Die Gesammtheit der nach allen Punkten des Parallels gezogenen Gesichtslinien bildet einen geraden Kegel mit kreisförmiger

Grundfläche, deſſen geometriſche Axe die Weltaxe iſt, und in deſſen Scheitel ſich das Auge des Beobachters befindet; im Innern dieſes Kegels wollen wir einen wirklichen, eingetheilten Kreis anbringen, der vom Scheitel etwa ein Meter abſteht, und den alle Geſichtslinien oder Seitenlinien des Kegels ſtreifen. Von dieſen Seitenlinien wird eine durch den Nullpunkt der Theilung gehen, und im Raume, auf dem Parallelkreiſe ſelbſt, einen entſprechenden Punkt bezeichnen, welchen wir gleichfalls den Nullpunkt nennen wollen. Die den Kreis in den Theilpunkten 1, 2, 3, 4 .... 360 treffenden Geſichtslinien werden ebenſo auf dem Parallelkreiſe die Theilpunkte 1, 2, 3, 4 ... 360 bezeichnen. Dadurch werden wir alſo dieſen in ſehr großer Entfernung belegenen Parallel in gleiche Theile getheilt haben, mittelſt der auf einem in unſern Händen befindlichen Kreiſe gleichmäßig vertheilten Theilſtriche. An der Uhr wollen wir den Augenblick anmerken, in welchem ſich der Stern in der Richtung der durch Null gehenden Geſichtslinie befindet, und hierauf abwarten, bis ihn die tägliche Bewegung in die Geſichtslinien führt, die den Theilungen 10, 20, 30, 40.... entſprechen. Die Zeitpunkte aller dieſer Antritte des Sterns zeichnen wir auf, und finden alsdann, daß der Stern ſtets denſelben Zeitraum gebraucht hat, um eines der Intervalle zu durchlaufen, gleichviel ob man Intervalle im oberen oder im unteren, im öſtlichen oder im weſtlichen Theile der Bahn gewählt hat: kurz wir finden, daß der Stern ſeine Bahn gleichförmig durchläuft.

Bei demſelben Beobachtungsſyſteme können wir auch finden, wieviel Zeit ein zweiter, ein dritter, dem Pole näher oder ferner gelegener Stern braucht, um 10° ſeines Parallelkreiſes zu durchlaufen, und können uns auf dieſe Weiſe überzeugen, daß Bogen von gleicher Winkelweite in ſtreng gleichen Zeiten beſchrieben werden; und dies findet immer ſtatt, ſowohl wenn man Bogen auf einem und demſelben Parallelkreiſe untereinander vergleicht, oder Bogen verſchiedener Parallele. Eine beachtenswerthe Folgerung geht aus dieſer Gleichförmigkeit der täglichen Bewegung hervor: daß nämlich die kleinen Grade der dem Pole ſehr benachbarten Parallele genau in derſelben Zeit durchlaufen werden, wie die Grade der dem Aequator nahen Parallelkreiſe, und wie die Grade des Aequators ſelbſt.

Fünftes Kapitel.

Die Bewegung der Sterne als Mittel zu einer genauen Bestimmung der Lage des Meridians.

Wir haben oben bereits gesehen (im 2. Kap. S. 188), daß wenn man auf einem Globus den Himmel mit Genauigkeit darstellen will, es hinreichte die gegenseitigen Winkelabstände der verschiedenen Sterne zu kennen, und daß man diese Abstände mittelst eines sehr einfachen Instruments erhielt, das aus zwei untereinander durch einen getheilten Kreis verbundenen Fernröhren oder Dioptern bestand. Indessen ist diese Beobachtung nicht so leicht, als man zuerst glauben könnte: die stete Bewegung der Sterne infolge ihres täglichen Umschwungs beeinträchtigt merklich die Genauigkeit der Beobachtungen. Ist der Beobachter allein, so beginnt er damit, eines der beiden Fernröhre auf den ersten Stern zu richten; während er aber das zweite Fernrohr auf den zweiten Stern richtet, wird der erste seinen Weg fortgesetzt und den Ort, den er anfänglich einnahm, schon verlassen haben. Während der Beobachter nun auf den ersten Stern zurückgeht, um die Einstellung zu berichtigen, hat auch der zweite die Richtung verlassen, in der man ihn soeben beobachtet hatte, und so wird man niemals volle Gewißheit haben, daß in einem gegebenen Augenblicke die Fäden beider Fernröhre genau auf die beiden Sterne gerichtet sind. Läßt man zwei Beobachter gleichzeitig an der Beobachtung theilnehmen, so ist die Schwierigkeit zwar geringer, ohne jedoch ganz zu verschwinden.

Wenn wir bei einer Darstellung des Himmels äußerste Genauigkeit beabsichtigen, so müssen statt der directen Messungsverfahren, die sich uns zunächst dargeboten hatten, und gegen die theoretisch Nichts einzuwenden war, neue Methoden in Anwendung kommen, wären es selbst indirecte Methoden, wenn sie nur die angedeuteten Schwierigkeiten aus dem Wege räumen. In gewissem Grade treten diese Schwierigkeiten auch bei den Beobachtungen der correspondirenden Höhen ein, vermittelst deren wir die Lage der Meridianebene bestimmt haben. Es hat freilich keine Schwierigkeit den Augenblick zu beobachten, in welchem ein Stern eine im Voraus bestimmte Höhe einnimmt,

indem man zur Abſehenslinie den Horizontalfaden des Theodolitenfernrohrs hat, welches ſich am Verticalkreiſe des Inſtruments dreht. Dieſe Beobachtung allein genügt indeſſen nicht: man muß noch wiſſen, in welcher Azimutalebene die Beobachtung geſchehen iſt, und dies ſetzt voraus, daß man den Stern durch Drehung des Theodoliten von Oſt nach Weſt fortwährend unter dem verticalen Faden des Fernrohrs erhält. Dieſe Nothwendigkeit, den Stern gleichzeitig unter dem Horizontal- und dem Verticalfaden zu halten, iſt, wie alle Beobachter empfunden und angegeben haben, von Schwierigkeiten begleitet, die, wie Jeder ſofort einſieht, von der ununterbrochenen Bewegung der Sterne herrühren. War aber dieſe Bewegung zunächſt hinderlich, ſo iſt ſie, ſeitdem man ſie richtig aufgefaßt hat, ein werthvolles Meſſungsmittel geworden, und wir wollen jetzt ſehen, wie man aus dieſer Bewegung eine Methode zu genauer Beſtimmung des Meridians hergeleitet hat.

Es iſt uns ſchon bekannt, daß gleiche Bogen auf allen Parallelkreiſen in gleichen Zeiten durchlaufen werden, und daraus folgt ſogleich, daß zu ungleichen Bogen ungleiche Zeiten gehören.

Es ſei nun ABCD (Fig. 90) der Umfang des von einem Circumpolarſterne beſchriebenen Parallels; der Beobachter ſei im Beſitze eines um eine horizontale Axe beweglichen Fernrohrs, deſſen optiſche Axe folglich eine Verticalebene beſchreibt. Dies Fernrohr richten wir auf die Nordſeite, und es mag EF der Schnitt ſein, den die gehörig verlängert gedachte Ebene des Fernrohrs auf dem Parallel des von uns gewählten Sternes macht. Liegt der Schnitt rechts vom Mittelpunkte des Kreiſes,

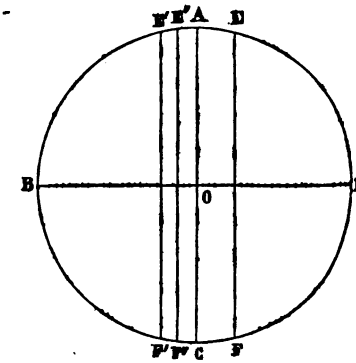


Fig. 90. — Beſtimmung des Meridians.

ſo wird er denſelben in zwei ungleiche Theile theilen: der Bogen EABCF wird größer ſein als der Bogen EDF, und folglich wird der Stern, um von E über A und B nach F zu gehen, mehr Zeit aufwenden, als er braucht, um von F über D nach E aufzuſteigen. Ohne daß

wir alſo den Umfang des Parallels oder ſeinen Mittelpunkt ſehen, können wir doch in dieſer Weiſe ermitteln, daß der Schnitt EF dieſen Mittelpunkt zur Linken liegen läßt. Wir ſtellen nun das Fernrohr auf eine irdiſche Marke in der Richtung deſſelben, um, ſobald es nöthig iſt, die Ebene in der die erſten Meſſungen geſchahen, wiederauffinden zu können. Hierauf bewegen wir unſer Fernrohr, während die Axe horizontal bleibt, im Azimute ein wenig von Oſten nach Weſten. In dieſer neuen Lage möge ſeine gehörig verlängert gedachte Ebene in dem berachteten Kreiſe einen Schnitt E′F′ machen; ſo wird der Stern, um von dem im oberen Theile des Schnitts gelegenen Punkte E′ über B hinaus zu dem unten liegenden F′ zu gelangen, weniger Zeit brauchen, als wenn er von F′ nach E′ zurückkehrt. Während alſo bei der erſten Beobachtung die vom Fernrohre beſchriebene Verticalebene rechts vom Mittelpunkte vorbeiging, geht dieſelbe bei der zweiten links vorbei. Der Meridian ſelbſt muß ſich zwiſchen dieſen beiden Lagen befinden, weil ihm die Eigenſchaft zukommt, die von den nördlichen Sternen über dem Horizonte beſchriebenen Kreiſe in zwei gleiche Theile zu theilen.

Wählen wir jetzt eine mittlere Lage zwiſchen der irdiſchen Marke, welche der Ebene E′F′ entſpricht, und der andern, der Ebene EF entſprechenden Marke, ſo iſt klar, daß wir in der Ebene des Parallels einen Schnitt E″F″ erhalten, welcher der Meridianebene näher liegt als der Schnitt E′F′; ob derſelbe nach links oder nach rechts von der Meridianebene liegt, werden wir ohnehin an dem Umſtande merken, daß der Stern im erſten Falle bei ſeiner von rechts nach links gerichteten Bewegung weniger Zeit aufwendet, um von E″ über B nach F″ zu gelangen, als um den Weg von F″ nach E″ zurückzulegen. Nach einigen Verſuchen wird man endlich dahin gelangen diejenige Stellung zu finden, in welcher der Stern ebenſo viel Zeit braucht von oben nach unten zu gehen, als um von unten nach oben zurückzukehren, und in dieſem Falle beſchreibt das Fernrohr die Meridianebene. Iſt dieſe Bedingung einmal erfüllt, ſo ſtellt man in der Ferne am Horizonte, in der Richtung des Fernrohrs, eine Marke auf, und hat damit die Richtung des geſuchten Meridians. Statt daß alſo die Bewegung der Sterne, um es noch einmal zu wiederholen, dies Verfahren beeinträchtigt hätte, iſt ſie vielmehr ein genaues Mittel zur Erreichung des Zieles geworden. Dieſer

Methode die Lage des Meridians zu bestimmen, bedient man sich auf den Sternwarten ganz allgemein, um diejenigen Instrumente und anderen Vorrichtungen zu berichtigen, die genau von Süd nach Nord orientirt sein sollen. Man hat diese wirklich in Anwendung kommende Methode wohl zu unterscheiden von der früher bereits vorgetragenen, der man sich zwar zur Erklärung bedienen kann, die aber in der Anwendung keineswegs die Genauigkeit gewährt, welche die neueren Beobachtungen erfordern.

Sechstes Kapitel.

Bestimmung der Lage der Weltaxe. — Breite eines Orts. — Polhöhe.

Die Lage der Weltaxe können wir jetzt direct und ohne Versuche bestimmen, auch ohne daß es nöthig ist, einen Circumpolarstern Schritt für Schritt zu verfolgen, um den Augenblick zu erhaschen, in welchem er den höchsten oder den niedrigsten Punkt in seiner Bahn erreicht. Offenbar befinden sich diese beiden Punkte in der Meridianebene, deren Lage wir schon aufzufinden wissen. Man stelle nun einen Kreis in dieser Ebene auf (Fig. 91), so wird ein Stern f im obersten Theile seiner Bahn um ebenso viel über dem Pole stehen, als im untersten Theile, wenn er in f′ abermals den Meridian erreicht, unterhalb desselben. Bemerkt man nun den Grad auf dem Kreise, bei welchem das Fernrohr zur Zeit des ersten Durchgangs stand, und ebenso denjenigen Grad, bei dem es zur Zeit der zweiten Beobachtung sich befand, so müßte das Fernrohr auf den Punkt in der Mitte des durchlaufenen Bogens gerichtet werden, um genau nach dem Pole zu weisen. Der Winkel POH, welchen das Fernrohr in

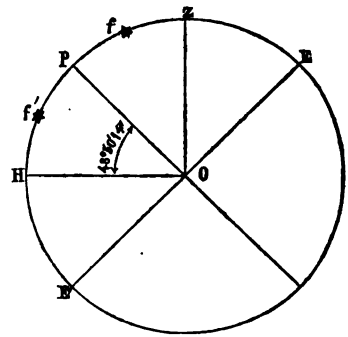


Fig. 91. — Bestimmung der Weltaxe.

dieſer Stellung mit einer Horizontallinie macht, wird die Polhöhe genannt. Sie ändert ſich mit dem Beobachtungsorte. Da der Aequator eine auf der Weltaxe ſenkrechte Ebene iſt, ſo wird es leicht ſein, ſeine Lage EE′ auf dem Meridiankreiſe zu beſtimmen; man hat nämlich zu dieſem Zwecke von der Polaraxe aus einen Bogen von 90° zu nehmen. Der Winkel ZOE, eingeſchloſſen vom Punkte Z des Kreiſes, wo eine durch den Mittelpunkt gelegte Verticale hintrifft, und dem Punkte E, den wir als dem Aequator entſprechend bezeichnet haben, wird die Breite des Orts genannt.

Ebenſo werden wir die Entfernung der Verticallinie von der Polaraxe und die Winkeldiſtanz des Aequators vom Horizonte erhalten. Dieſe vier Größen hängen untereinander zuſammen, oder ſind auseinander herzuleiten durch Beziehungen, welche man aus der nebenſtehenden Figur (Fig. 92) leicht entnimmt.

Es ſei HOH′ eine in der Meridianebene liegende Horizontallinie, OP die nach dem Pole gerichtete Linie, OZ die Verticale des Orts oder eine durch das Zenith gezogene Linie, OE ſtelle den auf der Linie OP ſenkrechten Aequator vor. Der Winkel HOZ iſt ein rechter, und alſo dem Winkel POE gleich, welcher ebenfalls 90° beträgt; aber HOZ beſteht aus den Winkeln HOP und POZ; und POE iſt aus ZOE und POZ zuſammengeſetzt. Wenn man von zwei untereinander gleichen Größen eine und dieſelbe Größe abzieht, ſo müſſen die Ueberreſte ebenfalls untereinander gleich ſein. Zieht man alſo den Winkel POZ einmal von der Diſtanz HOZ des Horizonts vom Zenith ab, und darauf von dem gleichen Winkel POE, d. h. dem Winkelabſtande des Pols vom Aequator, ſo wird auf der einen Seite der Winkel HOP, auf der andern der Winkel ZOE übrig bleiben; folglich wird Polhöhe und Breite einander gleich, nämlich beide gleich dem Abſtande des Zeniths

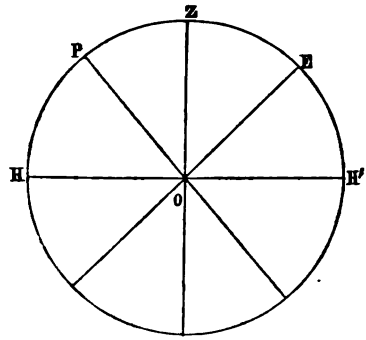


Fig. 92. — Breite eines Ortes oder Polhöhe.

vom Aequator. Ebenſo beweiſt man, daß die Entfernung des Pols vom Zenith, welche das Complement der Polhöhe oder der Breite iſt, der Aequatorhöhe gleich iſt.

In Paris, an der Südfronte der Sternwarte, beträgt die Polhöhe oder die Ortsbreite 48° 50′ 14″: die Aequatorhöhe oder der Abſtand des Pols vom Zenith iſt die Ergänzung dieſer Zahl zu 90° oder 41° 9′ 46″.

Siebentes Kapitel.

Meinungen der Alten über die tägliche Bewegung. — Vorſtellungen der Epikuräer.

Wie Achilles Tatius [4]) berichtet, gab Xenophanes (der von 617 bis 510 vor unſerer Zeitrechnung lebte), der Erde zur Unterſtützung Grundlagen, die ſich ins Unendliche erſtreckten.

Beim Vorhandenſein ſolcher Grundlagen wäre es unmöglich geweſen, daß die Sonne, der Mond und die Sterne ihren Umlauf unterhalb der Erdkugel vollendeten; die feſte und unbegrenzte Stütze hätte dies verhindert. Nahm man eine ſolche feſte und unbegrenzte Stütze einmal an, ſo waren die Vorſtellungen der Epikuräer eine nothwendige Wahrheit; es war nicht anders denkbar, als daß die Sterne täglich im Weſten verlöſchten, da man ſie nicht zu ihrem Aufgangspunkte zurückgelangen ſah; nach einigen Stunden wurden ſie im Oſten von Neuem angezündet.

Noch zu Auguſtus' Zeiten war Cleomedes [5]) in die Nothwendigkeit verſetzt, dieſe epikuräiſchen Vorſtellungen über das Auf- und Untergehen der Sterne und der Sonne zu bekämpfen. „Dieſe unerhörten Thorheiten," äußerte ſich der Philoſoph, „beruhen allein auf einer Erzählung alter Weiber, derzufolge die Iberer allabendlich das Ziſchen der glühenden Sonne vernehmen ſollen, welche wie ein glühendes Eiſen in den Gewäſſern des Oceans verlöſcht."

Achtes Kapitel.

Die Himmel aus festem Stoffe.

Simplicius berichtet uns in seinem Commentar zu Aristoteles' Schrift über den Himmel[6]), wie schwer es den alten Beobachtern wurde anzunehmen, ein Stern könne im Raume schweben, und könne sich dort frei, d. h. ohne fortgetrieben zu werden, bewegen. Die Abneigung gegen diese Vorstellung hat wahrscheinlich den Glauben an die angeblich festen Himmel veranlaßt. So seltsam heutzutage diese Vorstellung erscheinen muß, so hat sie dennoch viele Jahrhunderte hindurch allen astronomischen Theorieen zur Grundlage gedient. Wir wollen, so gut es angeht, bestimmen aus welcher Zeit diese Vorstellung stammt, und welche Philosophen ihr gehuldigt haben.

Schon Anarimenes, der ums Jahr 543 vor Chr. lebte, stellte die Behauptung auf, der äußere Himmel sei fest, von Krystall, und die Sterne seien an der Kugelfläche nach Art der Nägel befestigt. Zwar erwähnt Plutarch nicht, auf welche Vermuthungen sich Anarimenes stützte; da aber Anarimander, dessen Schüler dieser Philosoph war, die Sterne nur dann bewegen zu können glaubte, wenn er ihnen feste Stützen gab, so darf man annehmen, daß die Hypothese des Anarimenes denselben Betrachtungen ihren Ursprung verdankte[7]).

Von verschiedenen Schriftstellern wird behauptet, auch Pythagoras (denn Pythagoras hat nichts geschrieben), habe den gestirnten Himmel für ein festes Kugelgewölbe gehalten, an welchem die Sterne angeheftet wären. Man könnte fast glauben, daß er diese Vorstellung von den Persern entlehnt habe, denn bei diesem Volke, sagt der Zend-Aveſta, glaubten die ältesten Astronomen an ineinander gefügte, feste Himmelskugeln. Ueber diesen Punkt der Geschichte der Wissenschaft wissen wir indessen nichts Bestimmtes.

Pythagoras lebte zwischen 580 und 500 vor Chr.

Eudorus, der ums Jahr 405 vor Chr. lebte, glaubte ebenfalls an feste Himmel; das sagt auf ganz unzweideutige Weise Aratus, welcher die Meinungen des Astronomen von Cnidos in Versen wiedergegeben hat; doch schweigt er in Betreff der Beobachtungen, die nach der Ansicht des Eudorus zu dieser Annahme nöthigten.

Ariſtoteles (von dem man ziemlich ſicher weiß, daß er von 384 bis 322 vor unſerer Zeitrechnung lebte), iſt in unſern Schulen lange für denjenigen gehalten worden, der das Syſtem der feſten Himmel erfunden hat, aber er hat es durch ſeine vollſtändige Billigung nur in hohem Grade unterſtützt. Die Sphäre der Fixſterne betrachtete er als den achten Himmel; die unterhalb dieſer befindlichen, feſten Himmel, die er gleichfalls annahm, dienten ihm, ſo gut es ging, zur Erklärung der eigenen Bewegungen der Sonne, des Mondes und der Planeten.

Ariſtoteles nahm an, daß ſich ſein achter, feſter und höchſter Himmel gleichförmig bewege, und daß Nichts jemals dieſe Bewegung ſtören könne.

„Es gibt im Innern der Welt (ſagt dieſer Philoſoph, vorausgeſetzt daß die Schrift De mundo wirklich von ihm herrührt) ein feſtes und unbewegliches Centrum, welches der Erde vom Schickſale zugewieſen iſt. . . . Außerhalb iſt die Welt von einer Fläche begrenzt, die ſie auf allen Seiten, nach allen Richtungen hin einſchließt. Die höchſte Region der Welt heißt der Himmel... Sie iſt von göttlichen Körpern erfüllt, die bei den Menſchen als Sterne bekannt ſind; und bewegt ſich in ewigem Kreislaufe, indem ſie mit ſich alle dieſe unſterblichen Körper herumführt, welche ununterbrochen und unaufhörlich demſelben Zuge folgen.“

Der Geometer Euklid (man ſehe ſeine Phaenomena) heftete die Sterne an eine feſte Kugel, in deren Mittelpunkte ſich das Auge des Beobachters befand. Bei ihm wird dieſe Vorſtellung als Ergebniß aus folgenden genauen Fundamentalbeobachtungen eingeführt: Die Umdrehung geſchieht im Ganzen, und weder Geſtalt noch Größenverhältniſſe der Sternbilder werden dadurch jemals im Laufe des Tages geändert.

Dieſe Meinungen und Ergebniſſe aus Beobachtungen rühren etwa aus dem Jahre 275 vor unſerer Zeitrechnung her.

In dem Zeitraume zwiſchen 106 und 43 vor unſerer Zeitrechnung erklärte ſich Cicero für einen Anhänger der Lehre von den feſten Himmeln; ſeiner Meinung nach war der Aether zu wenig dicht, um die Sterne in Bewegung ſetzen zu können, deßhalb mußten die Sterne an einer beſondern, vom Aether unabhängigen Kugelſchale befeſtigt ſein.

Zu Seneca's Zeiten müssen der Annahme fester Himmel schon Schwierigkeiten entgegengestanden haben, denn dieser Philosoph erwähnt ihrer nur frageweise und zweifelnd. Hier seine eigenen Worte[8]: „Ob der Himmel wohl fest ist und aus einer festen, compacten Masse besteht?" (Natur. Quaest. Lib. II, cap. 1.)

Im fünften Jahrhundert sprach Simplicius, ein Commentator des Aristoteles, gleichfalls von der Sphäre der Fixsterne; er betrachtete dieselbe nicht nur als ein künstliches Hülfsmittel, um die Erscheinungen der täglichen Bewegung genau darzustellen, sondern er hielt sie für ein wirkliches, materielles Object.

Neuntes Kapitel.

Ansichten der Alten über die Weltaxe.

Anaxagoras glaubte, wie Diogenes Laertius berichtet, daß alle Sterne sich anfänglich um den Zenithpunkt drehten, und indem sie sich um eine verticale Axe bewegten, dem Horizonte parallele Kreise beschrieben. In jener ersten Periode war also das Zenith der Weltpol, und erst später erhielt die Axe eine Neigung.

Aber welches Zenith hatte Anaxagoras im Sinne[9]? Ihm war es also unbekannt, daß die Verticallinien der verschiedenen Punkte auf der Erdoberfläche untereinander nicht parallel sind, und nicht auf dieselben Punkte des Himmels treffen.

Cicero's Zeitgenosse Geminus[10] bezeichnete die Anwendung eines um eine der Weltaxe parallele Linie drehbaren Diopterlineals als ein Mittel, sich zu überzeugen, daß die Sterne infolge der täglichen Bewegung Kreise beschreiben.

Sein Vorschlag war vortrefflich, denn dies ist das heutzutage unter dem Namen der parallaktischen Maschine bekannte Instrument; aber Geminus sagt nicht, ob er davon Gebrauch gemacht habe.

Wenn die heutigen Astronomen von einer Weltaxe reden, so denken sie bei diesem Worte nicht an das Vorhandensein einer materiellen Axe; die Alten dagegen glaubten, die Umdrehung des Himmels

geſchähe wirklich um eine feſte Axe vermittelſt Zapfen, die ſich in unbeweglichen Lagern drehten. Darüber laſſen die folgenden Worte Vitruv's keinen Zweifel zurück[11]): „Der Himmel iſt das, was ſich um eine Axe unaufhörlich um Erde und Meer dreht; die Enden dieſer Axe ſind wie zwei Zapfen, welche dieſelben unterſtützen, denn an dieſen beiden Punkten hat die Macht, welche der Natur vorſteht, zwei Angeln angebracht, die als Mittelpunkte dienen; eine davon iſt von Erde und Meer aus nach oben, zu den nördlichen Sternen gerichtet, die andere iſt auf der entgegengeſetzten Seite, unterhalb der Erde und gegen Süden. An dieſen Angeln, wie an zwei Mittelpunkten, ſind kleine Naben, wie bei einem Rade oder einer Drehbank angebracht, um welche ſich der Himmel ohne Aufhören dreht."

Zehntes Kapitel.

Harmonie der Welten.

Die Vorſtellung von himmliſchen Tönen, von einer Harmonie, die durch die Bewegungen der Geſtirne hervorgebracht wird, war bei den Alten ſehr verbreitet, ſie findet ſich ſogar bei den neueren Dichtern wieder[12]). Ich erinnere beiſpielsweiſe an die Verſe von Jean-Baptiſte Rouſſeau*):

Welch' hoher Lobgeſang
Zu uns im Sphärenklang
Herniederſinkt!
In ew'ger Melodie
Göttliche Harmonie
Zuſammenklingt!

*) Quel plus sublime cantique
Que ce concert magnifique
De tous les célestes corps!
Quelle grandeur infinie,
Quelle divine harmonie
Résulte de leurs accords!

Anmerkungen der deutſchen Ausgabe.

Zum ſechſten Buch.

1. S. 192. Sehr unſicher iſt die Herleitung des Namens Theodolit; während nämlich Einige, z. B. Lalande Astronomie §. 2585 ſich, der im Texte gegebenen Zuſammenſetzung entgegen, an θεαομαι ſehen, und ὁδος Weg halten zu müſſen glaubten, ſind Andere der Meinung, das Wort ſei überhaupt unverſtändlich. Inſtrument und Name deſſelben erſcheinen zuerſt in der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts: früher diente zum gleichzeitigen Meſſen der Höhen und Azimute der Azimutal-Quadrant.

2. S. 193. Lalande hat zuerſt dieſem wichtigen Beſtandtheile aller getheilten Inſtrumente den Namen des eigentlichen Erfinders Vernier gegeben, während man daſſelbe früher allgemein Nonius genannt hatte, nach Peter Nonius, der eine andere Einrichtung zur Verfeinerung der Ableſung gegeben hatte. Ueber Vernier und ſein Buch vergl. Bibliographie astronomique S. 196.

3. S. 194. Außerhalb Frankreichs haben Froment'ſche Inſtrumente, wie das hier dargeſtellte, keine Verbreitung gefunden. Nicht nur in Deutſchland, ſondern faſt überall auf der Erde ſind dagegen die Theodoliten oder, was daſſelbe iſt, Univerſalinſtrumente von Reichenbach, Ertel, Repſold, ſowie Piſtor und Martins in Gebrauch. Abbildungen und Beſchreibungen derſelben geben Sawitſch, Abriß der praktiſchen Aſtronomie 1850, I. Th. S. 156 u. f., Kaiser, De sterrenkundige plaatsbepaling in den Indischen Archipel. Amſterd. 1851. S. 98 u. f., Oudemans Beschrijving en afbeelding van een Universaal-Instrument van Repsold (Programm des Leydener Gymnaſiums 1852).

4. S. 206. Achilles Tatius in ſeiner Einleitung zu den Phänomenen des Aratus (Isagoge ad Aratum); die Schrift findet ſich in des Petavius Uranologium 1630. Der franzöſiſche Text hat irrthümlich Fatius.

5. S. 206. Cleomedes, der von 100 bis 30 vor Chr. geſetzt wird, in ſeiner 1539 zuerſt gedruckten Cyclicotheoria, dem älteſten Buche über mathematiſche Geographie, das auf unſere Zeit gekommen iſt. Dieſelbe märchenhafte Erzählung vom Brauſen und Ziſchen des Meeres beim Eintauchen der glühenden Sonne hat Strabo im dritten Buche. Vergl. Bailly, Geſchichte der Sternkunde des Alterthums I. S. 40.

6. S. 207. Simplicii Commentarius in libros Aristotelis de Coelo. Weidleri Histor. Astronom. 1741, S. 200.

7. S. 207. Alles was die alten Schriftſteller Diogenes Laertius, Strabo, Plinius über Anarimander und Anarimenes, beide zu Milet im ſechſten Jahrhundert v. Chr., berichten, iſt geſammelt im Dictionnaire de Bayle, im zehnten Bande der Abhandl. der Akademie der Inſchriften (Abhandl. von Canaye) und bei Lalande Astronomie §. 301—303. Siehe auch den erſten Band von Bailly's Geſchichte, im 7. Abſchnitt.

8. S. 209. Solidumne sit coelum, ac firmae concretaeque materiae, an ex subtili tenuique nexum. Annaei Senecae Natur. Quaest. II, c. 1. Die Vorſtellung von feſten, materiellen Himmelsſphären iſt übrigens nicht in ſo früher Zeit, wie nach dem Texte ſcheinen könnte, verdrängt worden, ſondern hat ſich durch das ganze Mittelalter erhalten, und erſt Tycho de Brahe durfte ſich mit Recht des Verdienſtes rühmen, die Unmöglichkeit ſolider und durchſichtiger Sphären erwieſen zu haben.

9. S. 209. Bailly hat es in der Geſchichte der Sternkunde des Alterthums ſehr ſinnreich verſucht, dieſe ſeltſame Meinung des Klazomeniers durch eine alte Tradition von der Fortrückung des Pols am Himmel zu erklären. Außer Diogenes Laertius berichtet über Anaxagoras Aehnliches Plutarch de placitis Philos. II. c. 23.

10. S. 209. Geminus Rhodius (nicht wie im franzöſiſchen Texte wiederholt ſteht Geminius) lebte ums Jahr 70 vor Chr. Seine Einleitung in des Aratus Phänomena (Isagoge Astron.) hat Petavius gleichfalls dem Uranologium einverleibt.

11. S. 210. Vitruv de Architectura lib. IX. c. 1. ed. Schneider S. 241.'

12. S. 210. Die Vorſtellung von myſteriöſen Beziehungen der ſieben Planeten zu den ſieben muſikaliſchen Tönen hatte Pythagoras höchſt wahrſcheinlich von Egypten nach Griechenland gebracht, und ſehr ähnliche Vorſtellungen, denen zufolge mit der ſchnell drehenden Bewegung der verſchiedenen Himmel nothwendig Töne erzeugt werden müßten, die zu einer allgemeinen Weltharmonie (oder, wie Montucla I, S. 66 vielmehr meinte, zu einem exécrable concert) zuſammenklingen, haben ſich bis auf Keppler's Zeiten, und bei den Dichtern bekanntlich bis auf unſere Zeit erhalten. So war noch Tycho der Anſicht, die den Raum erfüllende, den bewegten Himmelskörpern widerſtehende Luft könne von den Weltkörpern erſchüttert Töne erzeugen; aber hören konnte man, nach Keppler's Anſicht, dieſe Himmelstöne nicht (Harmonices Mundi 1619. Lib. V. c. 4). Wie ſich Keppler das harmoniſche Zuſammenklingen der Planeten dachte, wie nach ſeinen Ideen das Verhältniß der kleinſten Winkelgeſchwindigkeit eines Planeten zu ſeiner größten ein harmoniſches Intervall gibt, und wie er endlich ſogar die Excentricitäten der Planetenbahnen aus der Harmonie des Himmels erklärte, hat Apelt aufs Gründlichſte auseinandergeſetzt in ſeiner Schrift: Joh. Keppler's aſtronomiſche Weltanſicht, 1849. — Die im Texte angeführte Stelle iſt aus der Ode nach dem 18. Pſalm, livre I, ode 2.

Siebentes Buch.

Erläuterungen über die ſcheinbare Bewegung der Sonne.

Erſtes Kapitel.

Sterntag.

Die Geſammtheit der über den Himmel zerſtreuten Sterne ſcheint ſich von Oſt nach Weſt fortzubewegen; dieſe allen Sternen gemeinſchaftliche Bewegung wird, wie wir im vorſtehenden Buche geſehen haben, die tägliche Bewegung genannt. Daß die Sterne aufgehen und untergehen, und in der Zeit zwiſchen Aufgang und Untergang verſchiedene Höhen über dem Horizonte einnehmen: dies Alles iſt eine Folge dieſer Bewegung.

Der Himmel erſcheint uns in Kugelgeſtalt; wo immer auf der Erde ſich ein Beobachter befindet, kann er ſich ohne merklichen Fehler, ſobald es ſich um die Sterne und ſelbſt wenn es ſich um die Sonne handelt, in den Mittelpunkt dieſer Kugel verſetzt denken.

Die beiden anſcheinend unbeweglichen Punkte der Himmelskugel heißen ihre Pole. Der in unſerer Halbkugel ſichtbare Pol iſt der Nordpol, der unter dem Horizonte befindliche iſt der Südpol.

Die durch dieſe beiden Pole gezogene Linie, diejenige nämlich, um welche die Geſtirne ſich von Oſt nach Weſt zu drehen ſcheinen, kann man auch ohne merklichen Fehler als durch irgend einen Punkt der Erdkugel gehend annehmen. Es bedarf nur geringen Nachdenkens

um einzusehen, daß dies nichts anders bedeutet, als daß die Größe unserer Erde im Vergleich zu den Entfernungen, die uns von den Sternen trennen, ganz unmerklich ist.

Wir wollen jetzt annehmen man habe an einem gegebenen Orte durch die Polarare und durch die Verticallinie dieses Ortes eine als unbeweglich geltende Ebene gelegt; diese Verticalebene wird die Meridianebene genannt. Die Meridianebene schneidet die Himmelskugel in einem größten Kreise, der durch die beiden Polpunkte geht.

Dies vorausgesetzt, fassen wir nun den Himmelsäquator ins Auge, jenen größten Kreis auf der Kugel, der gleichweit von diesen beiden Polen absteht, und in dessen Umfange Sterne in großer Menge vertheilt sind. Von einem dieser Sterne ausgehend, theilen wir den Aequator in 360 gleiche Theile, d. h. in 360 Grade.

Durch jeden der Theilpunkte und die Polarare des Himmels legen wir Ebenen, von denen jede einzelne die Kugel in einem halben größten Kreise schneidet, der an den Polen endigt. Diese 360 Halbkreise theilen die Himmelskugel in 360 Kugelausschnitte, die man Melonenschnitten vergleichen könnte, und die untereinander gleich, am Aequator breit sind, während sie gegen den Nordpol und den Südpol hin fortwährend schmäler werden.

Zu einer bestimmten Tageszeit werden die Ebenen oder die begrenzenden Kreise dieser verschiedenen Ausschnitte oder, um zu meiner früheren Vergleichung zurückzukehren, dieser verschiedenen Melonenschnitte theilweise nach Osten, theilweise nach Westen geneigt sein; jedes Mal nur ein einziger wird abwechselnd vertical stehen und mit der Meridianebene zusammenfallen. Von diesen Kreisen wird jeder durch eine besondere Reihenfolge von Sternen gehen, welche stets dieselben bleiben, und von denen einige dem Aequator nahe stehen, andere sich mehr oder weniger in der Nähe der Pole befinden. Daß die Sterne so unabänderlich in dem Kreise bleiben, den sie einmal einnehmen, rührt von dem Umstande her, daß die Bewegung des Himmels im Ganzen vor sich geht, gerade so als wären die Sterne unveränderlich an eine feste Kugelschale geheftet.

Der Himmelsäquator und die in ihm befindlichen Sterne werden durch die allgemeine Bewegung des Himmels von Ost nach West

fortgeführt, und im Verlaufe der Umdrehung der Himmelskugel kommt jede einzelne der 360 besprochenen Ebenen, tritt jeder einzelne der Halbkreise, mit den in ihm befindlichen Sternen, in die unbewegliche Meridianebene oder in den kreisförmigen Meridianschnitt. Der Augenblick in welchem ein Gestirn in die Meridianebene tritt, wird in allen astronomischen Lehrbüchern der Augenblick des Meridiandurchgangs des betreffenden Sternes genannt; man kann diesen Augenblick des Meridiandurchgangs sehr leicht beobachten, entweder mit bloßem Auge oder mit besondern Instrumenten von äußerster Genauigkeit.

Die größere oder kleinere Anzahl von Graden im Aequator zwischen zwei solchen Kreisen, die durch zwei gegebene Sterne gehen, bestimmt den Zeitunterschied, etwa den Unterschied in Stunden, zwischen den Meridiandurchgängen dieser beiden Sterne. Man begreift hiernach leicht, aus welchem Grunde man diese Kreise Stundenkreise*) genannt hat.

Gesetzt nun die Umdrehungszeit des Sternhimmels, d. h. die Zeit welche die 360 Grade des Aequators brauchen, um durch den Meridian zu gehen, betrage 24 Stunden, 0 Minute und 0 Secunde, so sind 24 Stunden gleich 1440 Minuten, oder gleich 4 Minuten multiplicirt mit 360: jeder Grad wird folglich 4 Minuten brauchen, um durch den Meridian zu gehen. In Zwischenräumen von je 4 Minuten werden also die verschiedenen Stundenkreise, von denen wir gesprochen haben, im Meridian aufeinander folgen, und mit ihm zusammenfallen.

Die Umdrehungszeit der Himmelskugel, die Zeit welche zwischen zwei aufeinander folgenden Durchgängen irgend eines Sternes durch

*) Eigentlich ist die Betrachtung der Stundenkreise schon einbegriffen in der Erklärung der meisten astronomischen Erscheinungen der täglichen Bewegung. Ich habe geglaubt die Beweise um so einleuchtender zu machen, wenn ich Nichts als gleichsam selbstverständlich annahm. Ich weiß wohl daß es denjenigen, die wenig darüber nachgedacht haben, zuerst schwer wird zu begreifen, wie die verschiedenen Punkte eines schräglieg enden Stundenkreises, die doch in verschiedenen Entfernungen vom Meridian liegen, gleichzeitig mit ihm zusammenfallen sollen; diese haben indessen nicht gehörig bedacht, daß die tägliche Bewegung, welche den ganzen Himmel von Ost nach West führt, um so geringer wird, je mehr man sich den beiden Polen nähert, und daß diese Bewegung am Pole selbst ganz verschwindet.

den Meridian verfließt, oder die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Eintritten deſſelben Stundenkreiſes in den Meridian, nennt man den Sterntag.

Die 24 Stunden aus denen der Sterntag beſteht, darf man nicht verwechſeln mit den 24 Stunden anderer Art, von denen ſogleich die Rede ſein wird.

Will man wiſſen ob eine Pendeluhr nach dem Sterntage regulirt iſt, d. h. ob ſie während der Dauer eines ſolchen Tages genau 24 Stunden angibt, ſo muß man zwei aufeinander folgende Meridiandurchgänge deſſelben Sternes, an zwei nebeneinander liegenden Tagen beobachten, oder den Durchgang eines Sternes an einem beſtimmten Tage vergleichen mit dem Durchgange am nächſtfolgenden Tage eines beliebigen andern, aber auf demſelben Stundenkreiſe belegenen Sternes. Vermöge dieſer letzteren Bemerkung kann man entſcheiden, ob eine tragbare Uhr oder eine Pendeluhr nach Sternzeit regulirt iſt, ſelbſt in dem Falle, wo eine Wolke den am vorhergehenden Tage beobachteten Stern im Augenblicke ſeines Durchgangs bedeckt.

Die Umdrehungszeit des geſtirnten Himmels iſt unverändert dieſelbe in allen Jahrhunderten, gleichviel an welchem Orte man die Beobachtung anſtellt.

Der Sterntag, welcher dieſer Umdrehungszeit gleich iſt, beſitzt alſo die weſentliche Eigenſchaft aller Maaßeinheiten; die Aſtronomen bedienen ſich deſſelben auch ganz allgemein, ſowohl wegen dieſer unſchätzbaren Eigenſchaft, als wegen der großen Leichtigkeit, mit der man Zeit in Bogen verwandelt.

Man verſteht unter dem Winkel zwiſchen zwei Stundenebenen, oder was daſſelbe iſt, zwiſchen zwei Stundenkreiſen, die Anzahl von Graden, Minuten und Secunden, welche zwiſchen den Punkten liegen, in welchen dieſe Kreiſe den Aequator treffen; dieſer Winkel beträgt 1, 10, 20°, je nachdem der Bogen des größten Kreiſes, der die größte Breite des Kreisausſchnittes mißt, 1, 10, 20° beträgt.

Hat man alſo die relativen Zeiten des Meridiandurchgangs zweier Sterne beſtimmt, ſo erhält man den von ihren Stundenkreiſen eingeſchloſſenen Winkel wenn man 15° auf die Stunde rechnet, 15′ auf die Minute und 15″ auf die Secunde.

Ich will hier noch auf einen andern ſehr wichtigen Vortheil aufmerkſam machen, welcher dem Sterntage ausſchließlich zukommt. Iſt eine Uhr nämlich genau nach der Dauer dieſes Tages regulirt, ſo wird ein Stern, der zu einer beſtimmten Zeit durch den Meridian geht, auch an allen folgenden Tagen ohne Aufhören zu derſelben Zeit den Meridian paſſiren. Eine derartige Uhr nennt man eine Sternuhr.

Ein Blick auf die Sternuhr genügt dem Aſtronomen, um zu wiſſen, welche Sterne in den Meridian kommen ſollen, und zu welchen Beobachtungen er ſich vorzubereiten hat.

Zweites Kapitel.

Zweifache Bewegung der Sonne.

Die Bewegung der Sonne unterſuchen wir, indem wir ſie zunächſt auf den Horizont beziehen, d. h. auf dieſelbe Ebene, die wir ſchon gewählt haben, als es ſich um Unterſuchung der ſcheinbaren täglichen Bewegung der Sterne handelte.

Die Sonne geht ſtets im Oſten auf, und zwar etwas nördlich oder etwas ſüdlich von der Richtung nach dieſem Hauptpunkte; die Sonne erhebt ſich ſchrittweiſe bis zu gewiſſen Höhen, die je nach dem Tage im Jahre wechſeln; ſie ſinkt dann hinab, wie ſie aufgeſtiegen war, und verbirgt ſich unter den Horizont in einem nach Weſten belegenen Punkte. Die Sonne nimmt alſo, ſo wie die Sterne, Theil an der täglichen Bewegung des Sternhimmels.

Denken wir uns jetzt die Sonne an der von uns beſprochenen Kugel, die regelmäßig durch die Stundenkreiſe eingetheilt iſt, ſo werden wir ſehen, daß dies Geſtirn, wie die ſämmtlichen Sterne, durch die allgemeine, von Oſt nach Weſt gerichtete Bewegung des Firmaments herumgeführt wird, und daß dieſe Bewegung die Aufgänge und die Untergänge der Sonne bewirkt. Während aber die Sterne nur dieſer gemeinſchaftlichen Bewegung zu folgen ſchienen, hat die Sonne überdies noch eine eigene Bewegung, deren Richtung, im Allgemeinen betrachtet, von Weſt nach Oſt geht.

Wer wenig in mechaniſchen oder aſtronomiſchen Betrachtungen

geübt ist, der kann sich, wie ich oft zu erfahren Gelegenheit gehabt habe, nur schwer die doppelte Bewegung der Sonne vorstellen, diese Verbindung nämlich der täglichen Bewegung mit der eigenen Bewegung.

Um das gleichzeitige Vorhandensein dieser beiden Bewegungen recht anschaulich zu machen, trage ich kein Bedenken eine triviale Vergleichung anzuwenden, so wie mir vorhin die Melonenschnitte dazu gedient haben, die Theilung der Kugel durch die Stundenkreise in Kugelausschnitte zu erläutern.

Man denke sich einen jener um zwei gegenüberstehende Punkte beweglichen Globen aus Pappe, deren man sich beim Studium der Geographie oder der Kosmographie bedient. Die von Ost nach West gerichtete Bewegung dieses Globus, die Bewegung der auf der krummen Oberfläche der Kugel bezeichneten einzelnen Punkte, und endlich die Bewegung der größten Kreise, welche durch die beiden festen Punkte gehen, werden vortrefflich die tägliche Bewegung des Himmels, der Sterne und ihrer Stundenkreise vorstellen.

Im Aequator selbst oder in den naheliegenden Gegenden setze man nun auf die Kugel eine Fliege, die sich langsam von West nach Ost bewegt, während sich der Globus in entgegengesetzter Richtung von Ost nach West dreht. Durch diese zweite, tägliche Bewegung wird die Fliege fortgeführt; insofern aber als sie selbst auf dem Globus sich bewegt, insofern sie auf dieser selben Kugel, infolge ihrer eigenen Bewegung, immer östlichere Punkte einnimmt, kommt sie später in den Meridian, als die festen Punkte, bei denen sie sich vorher befunden hatte: diese Fliege nun ist die Sonne.

Nach dieser Vergleichung, wegen der ich des Lesers Verzeihung erbitte, können wir uns mit dem strahlenden Gestirne näher beschäftigen.

Drittes Kapitel.

Eigene Bewegung der Sonne.

Das ganze Jahr hindurch geht jeder Stern an denselben Punkten des Horizonts auf und unter; bei der Sonne dagegen sind die Punkte des Aufgangs und des Untergangs fortwährend verän-

derlich. In der Zeit vom 21. December bis zum 21. Juni geht die Sonne jeden Tag in immer nördlicheren Gegenden auf; vom 21. Juni dagegen bis zum nächſtfolgenden 21. December beobachtet man ein Fortſchreiten in entgegengeſetzter Richtung. Schienen uns die täglichen Bahnen der Sterne für einen gegebenen Horizont an feſte Punkte geknüpft, ſo ſieht man im Gegentheile, daß ſich diejenigen Punkte dieſes Horizonts, wohin die täglichen ſcheinbaren Bahnen der Sonne treffen, fortwährend ändern. Ein beſtimmter Stern erreichte alltäglich, bei ſeinem Meridiandurchgange, dieſelbe Winkelhöhe über dem Horizonte; aber die größte Tageshöhe der Sonne iſt ſehr veränderlich. Nehmen wir zuerſt an, der Aſtronom könne ſeine Beobachtungen nur mit bloßem Auge anſtellen, und er vergleiche die Sonne mit denjenigen Sternen, die kurze Zeit nach ihr untergehen; ſo wird die Zeit zwiſchen dem Untergange der Sonne und dem der öſtlicher belegenen Sterne, von Tag zu Tag kleiner werden, und endlich rücken die Sterne, welche zu Vergleichpunkten dienen, in die Tageshelle, wo ſie verſchwinden. Nun mag der Aſtronom ſeine Blicke nach Oſten richten. Ich nehme an, daß diejenigen Sterne, welche vor der Sonne den Horizont erreichen oder aufgehen, weit genug aus der Dämmerung ſtehen, um ſichtbar zu werden; iſt am erſten Tage die Beobachtung nur ſchwer anzuſtellen, ſo wird ſie an den nachfolgenden Tagen immer leichter, weil ſich die Sonne nach und nach von den weſtlich von ihr befindlichen Sternen entfernt. Man kann infolge dieſer beiden Bemerkungen über den Aufgang und den Untergang den Schluß machen, daß die Sonne auf die öſtlich von ihr befindlichen Sterne zurückt, und dagegen von weſtlich befindlichen ſich entfernt. Um dieſen doppelten Vorgang zu erklären, kann man ſowohl annehmen daß ſich die Sonne den unbeweglichen Sternen durch eine Bewegung von Weſt nach Oſt genähert habe, oder daß die Sterne der alsdann feſtſtehenden Sonne entgegen gerückt ſeien, in einer allen gemeinſchaftlichen, von der täglichen Bewegung unabhängigen und von Oſt nach Weſt gerichteten Bewegung.

Dieſe letztere Annahme hat man anfänglich für die natürlichere gehalten, weil der Menſch ſehr geneigt iſt die kleinen Körper in Bewegung zu denken, und die anſcheinend großen in Ruhe beharren zu laſſen; bei gründlicherem Nachdenken ſah man indeſſen ein, daß bei

der angenommenen Bewegung der Sterne dennoch ein eigenes Fortrücken der Sonne erforderlich blieb, weil man die beträchtlichen Aenderungen in den Punkten des Aufgangs und des Untergangs dieſes Geſtirns, die wir in der Zeit vom 21. December bis zum 21. Juni ſchon bemerkt haben, erklären mußte, und ebenſo die Aenderungen in entgegengeſetzter Richtung vom 21. Juni bis zum 21. December. Durch dieſe Betrachtung wurde man zu der Vorſtellung zurückgeführt, daß die Sterne keine andere Verrückung erleiden, als die von der täglichen Bewegung herrührende, und daß die an derſelben Bewegung theilnehmende Sonne überdies an der Fixſternſphäre von Weſt nach Oſt fortrückt.

Durch die von uns jetzt nachgewieſene eigene Bewegung der Sonne erklärt ſich auf's Einfachſte, weshalb ſich im Laufe des Jahres der Nachthimmel fortwährend ändert. Denn da die Sonne durch ihre eigene Fortbewegung in verſchiedene Sternbilder tritt, verlöſcht ſie durch ihr helles Licht die Sterne, aus denen dieſelben beſtehen, und es bleiben nur diejenigen Sternbilder deutlich erkennbar, von denen die Sonne weit entfernt iſt, und die nicht zu gleicher Zeit mit ihr über dem Horizonte ſtehen.

Viertes Kapitel.

Beſtimmung der Lage der krummen Linie, in welcher die eigene jährliche Bewegung der Sonne vor ſich geht. — Solſtitien, Nachtgleichenpunkte, Jahreslänge in Sterntagen. — Mauerkreis. — Mittagsfernrohr.

Wir wollen jetzt die eigene Bewegung der Sonne näher in Betracht ziehen, und zu dieſem Zwecke folgende drei Inſtrumente anwenden: das Mittagsfernrohr, den Mauerkreis und die Sternuhr. Was man unter Sternuhr zu verſtehen habe, iſt ſoeben auseinander geſetzt worden.

Durch frühere Beobachtungen (6. Buch, 6. Kap., S. 204) haben wir ſchon denjenigen Theilpunkt eines vertical und in der Meridianebene des Beobachtungsortes aufgeſtellten Kreiſes beſtimmt, welcher der Stellung des Fernrohrs entſpricht, wenn daſſelbe auf den Pol gerichtet iſt, und man weiß folglich auch wie man das Fernrohr zu ſtellen hat, damit es ſich in der Ebene des Aequators befinde, denn dieſe iſt 90° vom Polpunkte entfernt.

Mauerkreis*) nennt man einen getheilten Kreis (Fig. 93 und 94), der an einer horizontalen Are befeſtigt iſt, welche ſich auf zwei im

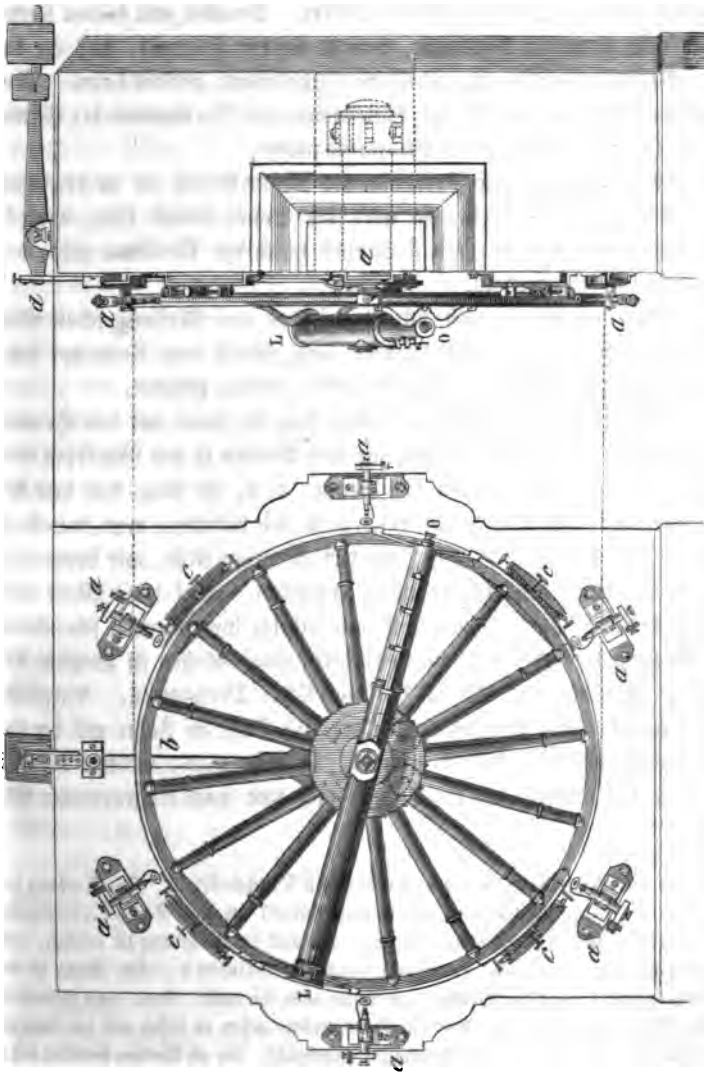


Fig. 93. — Mauerkreis der pariſer Sternwarte von der Seite geſehen.

Fig. 94. — Mauerkreis der pariſer Sternwarte von vorn geſehen.

*) O iſt das Ocular und L das Objectiv des Fernrohrs, das ſich gemeinſchaft-

Innern einer Mauer oder eines Pfeilers befindlichen Lagern dreht. Dieſer Kreis muß genau im Meridian des Ortes ſtehen, und ſeine Axe iſt alſo von Oſt nach Weſt gerichtet. Parallel mit dieſem Kreiſe, und alſo genau im Meridian, bewegt ſich ein Fernrohr, das an den verſchiedenen Punkten der Theilung feſtgeklemmt werden kann. Man bedient ſich dieſes Kreiſes zur Beſtimmung der Declination der Sterne, d. h. ihres Abſtandes vom Himmelsäquator.

Angenommen das Fernrohr des Mauerkreiſes ſei in der Ebene des Aequators feſtgeſtellt, ſo wird die Sonne ſüdlich ſein, wenn ſie unterhalb der Richtung des Fernrohrs durch den Meridian geht, und nördlich, wenn oberhalb.

Auf dieſe Weiſe läßt ſich ohne irgend eine Meſſung ſchon erkennen, daß die Sonne ſechs Monate lang ſüdlich vom Aequator ſteht, und ſich ſechs Monate nördlich von dieſer Ebene befindet.

Richtet man das Fernrohr jeden Tag im Jahre auf den Sonnenmittelpunkt in dem Augenblicke, wo dies Geſtirn in den Meridian tritt, ſo hat man die Declination der Sonne, d. h. die Lage des dem Aequator parallelen Kreiſes, in welchem ſie ſich befindet; man braucht zu dieſem Zwecke nur den Grad, wo das Fernrohr ſteht, mit demjenigen zu vergleichen, der dem Aequator entſpricht. Auf dieſe Weiſe wird man finden, daß die von der Sonne infolge ihrer eigenen ſcheinbaren Bewegung beſchriebene Bahn vollſtändig eingeſchloſſen iſt zwiſchen $23^{\circ}\ 27^{1}/_{2}'$ ſüdlicher und $23^{\circ}\ 27^{1}/_{2}'$ nördlicher Declination. Vergleicht man nun die 365 Beobachtungen der 365 Tage im Jahre mit der unveränderlichen Lage des Aequators, ſo ſieht man, welches die 365 Parallelkreiſe ſind, die die Sonne nach und nach eingenommen hat.

---

lich mit dem Mauerkreiſe dreht, von dem es ein Durchmeſſer iſt. Die Drehung des Kreiſes um ſeinen Mittelpunkt erhält man mittelſt der mit Sammt überzogenen Handgriffe b an den verſchiedenen Radien, wie aus der Zeichnung zu erſehen, und darauf die feine, langſame Bewegung durch Nußſchrauben c. Der Kreis iſt am Rande getheilt, und die Winkel, um welche man ihn dreht, kann man vermittelſt ſechs Mikroſkope a ableſen. Um den Kreis leichter gehen zu laſſen und die Lager zu unterſtützen, hat man glatte Unterlagen angebracht, die an Aermen befeſtigt ſind; letztere werden durch Gegengewichte heraufgezogen und heben dadurch einen Theil des Gewichts von Kreis und Fernrohr auf[1]).

Zu diesen 365 Resultaten wollen wir die 365 Positionen des Stundenkreises der Sonne hinzufügen, die wir erhalten, wenn wir den Augenblick des Meridiandurchgangs des Sternes Sirius täglich mit dem Augenblicke des Meridiandurchgangs des Sonnenmittelpunktes vergleichen. Die Durchschnitte dieser Stundenkreise mit den Parallelkreisen, welche den einzelnen Tagen entsprechen, ergeben die 365 Oerter, welche die Sonne im Laufe des Jahres einnimmt. Auf eine Kugel, welche eine Darstellung des Sternhimmels enthält, können wir also die Oerter der Sonne genau auftragen.

Diese Oerter besitzen eine äußerst merkwürdige Eigenschaft: sie liegen nämlich weder auf einem kleinen Kugelkreise, noch auf einer Linie mit Einbiegungen, was wohl auch der Fall sein könnte; sondern sie gehören alle zu dem Umfange einer stetigen Linie, ohne Zickzack irgend welcher Art. Diese krumme Linie ist ein größter Kreis der Kugel; eine Hälfte desselben liegt nördlich, die andere südlich vom Aequator.

Die Ebene ABCD (Fig. 95), in welcher die von der Sonne scheinbar durchlaufene Linie enthalten ist, wird aus später anzugebenden Gründen die Ebene der Ekliptik genannt. Für den Augenblick ist nur nöthig anzuführen, daß von der Stellung der Sonne und des Mondes gegen diese Ebene das Eintreten von Sonnen- und Mondfinsternissen (Ellipse) abhängt, und daß man dieser Ebene deßwegen den Namen Ekliptik gegeben hat.

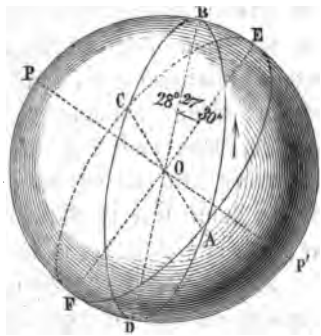


Fig. 95. — Schiefe der Ekliptik.

Die Neigung der Ebene der Ekliptik gegen die Ebene des Aequators AECF wird die Schiefe der Ekliptik genannt, und der Winkel, welcher diese Neigung in gegenwärtiger Zeit mißt, beträgt 23° 27′ 30″. Schon aus den Worten in gegenwärtiger Zeit, deren wir uns bei Angabe des jetzigen Werthes bedienen, kann man entnehmen, daß diese Schiefe nicht unveränderlich ist; sie ändert sich

jährlich um weniger als eine halbe Secunde. Wir werden an einem andern Orte auf diesen wichtigen Gegenstand zurückzukommen Gelegenheit haben.

In der krummen Linie, welche aus dem Durchschnitte des Sternhimmels und der Ekliptik hervorgeht, d. h. in der ebenen Curve, in welcher sich die Sonne fortbewegt, liegen vier merkwürdige Punkte, welche eine besondere Betrachtung verdienen. Zwei von diesen Punkten liegen im Aequator: es sind diejenigen, welche die Sonne passirt, wenn sie von der Südseite auf die Nordseite übergeht, und wenn sie umgekehrt vom Norden zum Süden zurückkehrt. Die beiden andern Punkte bestimmen die Grenzen der nördlichen und der südlichen Ausweichungen: es sind diejenigen Punkte, wo die Sonne, nachdem sie ihre größten Declinationen erreicht hat, von Nord nach Süd oder entgegengesetzt fortschreitend, sich dem Aequator zu nähern beginnt. Diese beiden Punkte heißen die Solstitien (Sonnenwendepunkte), während die beiden andern die Aequinoctien oder Nachtgleichenpunkte genannt werden. Das Frühlingsäquinoctium ist der Punkt A des Aequators, welchen die Sonne beim Aufsteigen von Süd nach Nord erreicht; das Herbstäquinoctium ist der gerade gegenüberstehende Punkt C, über welchen dies Gestirn hinweggeht, wenn es infolge seiner eigenen Bewegung von Nord nach Süd schreitet. Der Punkt B in der Mitte des Halbkreises ABC der Ekliptik ist das Sommersolstitium, während der Punkt D in der Mitte des andern Halbkreises CDA der Ekliptik das Wintersolstitium ist.

Die Lage der Nachtgleichenpunkte wird durch den Durchschnitt der Aequatorlinie mit der Linie der Ekliptik bestimmt, welche letztere wir mit Hülfe der den Beobachtungen entlehnten Daten graphisch auf der Kugel construirt haben; vielleicht wird es dem Leser angenehm sein zu erfahren, auf welche Weise man dieses graphische Verfahren durch die Rechnung ersetzen kann.

Angenommen man habe am 20. März, um Mittag, durch die Beobachtung am Mauerkreise gefunden, daß der Sonnenmittelpunkt 5′ südlich vom Aequator war, und ähnliche Beobachtungen haben am 21. März ergeben, daß die nun auf die Nordseite des Aequators übergetretene Sonne 15′ davon entfernt war; zwischen diesen beiden Beob-

achtungen mögen an der Sternuhr 24 Stunden 4 Minuten verflossen sein. Da die Bewegung in Declination nahezu gleichförmig vor sich geht, können wir folgende Proportion aufstellen: wenn 20′ (nämlich 15′ + 5′) 24 Stunden 4 Minuten erfordert haben, um von der Sonne durchlaufen zu werden, in wieviel Zeit werden die 5′ durchlaufen, um welche dies Gestirn am 20. vom Aequator abstand? Das vierte Glied dieser Proportion oder Regeldetri wird die Anzahl von Stunden, Minuten und Secunden ergeben, welche man zur Sternzeit am Mittage des 20. März hinzuzulegen hat, um den zwischen dem 20. und 21. liegenden Augenblick zu erhalten, der dem Durchgange der Sonne durch die Aequatorebene, oder mit andern Worten der Nachtgleiche entsprochen hat. Eine ganz ähnliche Rechnung würde man anzustellen haben, um den Augenblick zu finden, in welchem die Sonne auf ihrem Wege von Nord nach Süd die Ebene des Aequators durchschnitten hat.

Ist der Augenblick des Eintritts der Nachtgleiche gefunden, so läßt sich auch mittelst eines Proportionaltheils der Ort derselben finden, d. h. die Lage des ihr entsprechenden Stundenkreises. Gesetzt man habe wirklich aus der vorhergehenden Rechnung gefunden, daß die Sonne am 20. März Nachmittags um 6 Uhr im Nachtgleichenpunkte gestanden, und daß der Zwischenraum auf dem Aequator zwischen den Einschnitten der Stundenkreise der Sonne am 20. und 21. März 1° betragen habe, so wird man, in der ganz richtigen Voraussetzung die Sonne bewege sich während eines Tages gleichförmig, die folgende Proportion aufstellen: Gehören 24 Stunden und 4 Minuten zu einem Unterschiede des Stundenkreises der Sonne von 1°, wie groß wird die zu 6 Stunden, d. h. zu der Zwischenzeit vom Mittage des 20. März und der Nachtgleiche gehörende Verrückung sein? Das vierte Glied dieser Proportion gibt uns in Bogen die Zahl von Minuten und Secunden, die der Lage des Stundenkreises vom 20. März hinzuzufügen sind, um seine der Nachtgleiche entsprechende Lage zu finden. Wenn man diese Rechnungen mehrere Jahre mit verschiedenen numerischen Daten wiederholt anstellt, so ergibt sich, daß die Nachtgleiche auf der Aequatorebene nicht fest ist, d. h. nicht immer gleichweit im Winkel absteht vom Stundenkreise des Sirius, sondern sich all-

jährlich etwa um 50″3 von Oſt nach Weſt verſchiebt. Aehnliche Berechnungen von in der Nähe der Herbſtnachtgleiche angeſtellten Beobachtungen würden gleichfalls auf dieſe Erſcheinung hinführen. Die Ebene der Sonnenbahn ſchneidet demnach den Aequator in einer geraden Linie, deren Lage gegen den Sternhimmel nicht immer dieſelbe iſt, und die ſich alljährlich in der Richtung von Oſt nach Weſt um 50″3 verrückt; dieſe Bewegung heißt das Zurückweichen der Nachtgleichen oder die Präceſſion der Aequinoctien. Infolge dieſer Präceſſion fällt das Aequinoctium, im Laufe von 25 bis 26000 Jahren, nach und nach in alle Punkte des Aequators.

Beziehen ſich die ſoeben angedeuteten Rechnungen auf zwei gleichnamige Nachtgleichen, und gehören ſie zu zwei aufeinander folgenden Jahren, ſo führen ſie uns zur Kenntniß eines in der Sonnentheorie ſehr wichtigen Elements, nämlich zur Beſtimmung der Zeit, welche dies Geſtirn braucht, um in ſeiner ſcheinbaren Bewegung zu demſelben Nachtgleichenpunkte zurückzukehren, oder es kurz zu ſagen, zur Kenntniß der Jahreslänge. In Sterntagen oder in Umdrehungen des Himmels ausgedrückt, beträgt dieſe Länge 366,2396 Tage.

Wenn man befürchtete, zwei unmittelbar aufeinander folgende Nachtgleichen möchten die Länge des Jahres nicht hinreichend genau ergeben, ſo könnte man zwei, um 10 oder 20 Jahre auseinander liegende Nachtgleichen wählen, und die aus der Rechnung folgende Zwiſchenzeit dem entſprechend mit 10 oder 20 dividiren.

Des Mittagsfernrohrs bedient man ſich, um den Augenblick des Durchgangs der Geſtirne durch die Meridianebene zu beſtimmen. Es beſteht dies Inſtrument (Fig. 96, S. 227) aus einem Fernrohre, deſſen horizontale Axe auf zwei Lagern ruht, die an zwei verticalen Pfeilern befeſtigt ſind.

Das Fernrohr iſt ſo angebracht, daß die optiſche Axe deſſelben alle möglichen Lagen in der Meridianebene, in welcher es aufgeſtellt iſt, annehmen kann.

Für den aſtronomiſchen Zweck iſt es gleichgültig, mit welchem Sterndurchgange man den aſtronomiſchen Tag beginnt; deßhalb hat man auch, in der Vorausſicht daß es unmöglich ſein würde ſich über die Wahl desjenigen Sternes zu einigen, deſſen Meridiandurchgang

mit 0 Uhr 0 Minute 0 Secunde an der Sternuhr zuſammenfallen ſolle, zum Anfange des Sterntages, d. h. zum erſten Stundenkreiſe

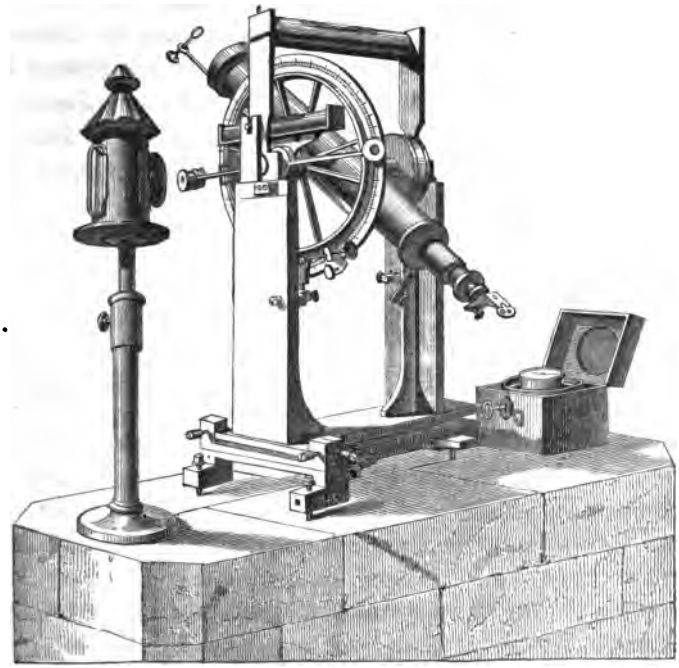


Fig. 96. — Das Mittagsfernrohr*).

einen Kreis beſtimmt, der einem aſtronomiſch beſonders ausgezeichneten Punkte auf dem Aequator entſpricht, den Stundenkreis nämlich, der

*) Obenſtehende Figur zeigt die perſpectiviſche Anſicht eines mit einem Meridiankreiſe verbundenen Mittagsfernrohrs, wie es Herr Brunner nach Herrn Laugier's Angabe verfertigt hat. Rechts erblickt man ein Chronometer, welches bei der Beobachtung der Durchgänge die Stelle einer Sternuhr vertreten kann; linker Hand befindet ſich die bei Nacht zur Beleuchtung der Fäden des Netzes und der Theilpunkte des Meridiankreiſes nothwendige Lampe. Dieſer Kreis, der zur Beſtimmung der Declinationen der Geſtirne dient, fehlt bei den gewöhnlichen Mittagsfernröhren. Mit einem ſolchen tragbaren Inſtrumente kann man Reſultate erhalten, welche an Genauigkeit kaum denen nachſtehen, die man mit feſten Inſtrumenten auf den großen Sternwarten erreicht²).

zu demjenigen Punkte im Aequator gehört, welchen die Sonne bei ihrem Durchgange durch diese Ebene, von Süd nach Nord fortschreitend, eingenommen hat, mit einem Worte den Frühlingsnachtgleichenpunkt.

Indem man die Beobachtung der Sternuhr und des Mittagsfernrohrs mit einander verbindet, bestimmt man den Abstand des Stundenkreises eines Gestirns, d. h. des Kreises der zum Durchgang dieses Gestirns durch den Ortsmeridian gehört, vom ersten Stundenkreise. Diesen Abstand nennt man die Geradeaufsteigung oder Rectascension des Sternes.

Fünftes Kapitel.

Verschiedene Einheiten beim Zeitmaaße. — Ueber den Tag und die Stunden.

Unter den Einheiten, deren man sich zu allen Zeiten und in allen Ländern zum Maaße der Zeit bedient hat, steht obenan der Tag mit seinen Unterabtheilungen, den Stunden oder 24steln des Tages, mit den Minuten oder 60stel Stunden, und den Secunden oder 60stel Minuten.

Gehen wir jetzt in einige Erläuterungen ein über die verschiedenen Bedeutungen des Wortes Tag, und über die mehr oder weniger verwickelten Verfahren, mit deren Hülfe es gelungen ist dieser Zeiteinheit diejenige Regelmäßigkeit zu geben, welche für die Bedürfnisse des täglichen Lebens erforderlich ist.

In seiner allgemeinsten Bedeutung hat man das Wort Tag immer von derjenigen Zeitdauer gebraucht, in welcher die Sonne scheinbar eine volle Umdrehung um den Himmel macht.

Mit demselben Worte bezeichnet man mitunter auch die Zwischenzeit zwischen zwei aufeinander folgenden Aufgängen oder Untergängen der Sonne.

Gleichviel ob man sich an die eine oder die andere dieser Definitionen hält, hat diese Zeiteinheit, wie wir schon bei näherer Betrachtung der jährlichen Bewegung der Sonne gesehen haben, nicht die wünschenswerthe Regelmäßigkeit und Gleichförmigkeit.

Im gewöhnlichen Sprachgebrauche bezeichnet man mit dem Worte Tag bisweilen die Zeit, während welcher die Sonne scheint, oder die Zeit, die zwischen einem Aufgange und dem darauf folgenden Untergange dieses Gestirns verfließt; während man bekanntlich die Zeit zwischen einem Untergange und dem darauf folgenden Aufgange Nacht nennt.

Die Griechen waren durch die Benennung Nüchthemeron, d. h. Nacht und Tag, im Stande die Zweideutigkeiten zu vermeiden, welche die Bezeichnung in unserer Sprache herbeiführen kann.

Schon seit undenklichen Zeiten hat man das Nüchthemeron in vierundzwanzig Theile oder Stunden eingetheilt.

Bei einigen Völkern wurden diese vierundzwanzig Stunden hintereinander fortgezählt, von eins bis vierundzwanzig; bei anderen bestand das Nüchthemeron aus zwei aufeinander folgenden Perioden, jede von zwölf Stunden. Von dem Versuche will ich hier nicht reden, den man im Jahre 1793 gemacht hat, die Dauer des Tages nur in zehn Theile zu theilen, deren jeder hundert Minuten enthielt; diese Art der Theilung hat keine Annahme gefunden, und man ist allgemein darauf zurückgekommen, den Tag in vierundzwanzig Stunden einzutheilen.

Wo man die vierundzwanzig Stunden von eins bis vierundzwanzig fortzählte, und nicht in zwei Gruppen von je zwölf Stunden, waren sie in der Regel von gleicher Dauer untereinander*). In einer gewissen Epoche findet man in Griechenland für den eigentlichen Tag, d. h. für die Zeit der Gegenwart der Sonne über dem Horizonte, eine Gruppe von zwölf gleichen Stunden; die Nacht, d. h. die Zeit welche zwischen Untergang und Aufgang der Sonne verfließt, wurde gleichfalls in zwölf untereinander gleiche Theile eingetheilt.

Man bemerkt sogleich, daß die Stunden der ersteren Gruppe im Sommer länger waren, als die der letzteren, während umgekehrt im Winter die Nachtstunden an Länge die Tagestunden übertrafen. Vollständige Gleichheit zwischen diesen beiden Gattungen von Stunden

*) An der Stelle, wo Galen von der Dauer der Fieberanfälle handelt, spricht er von Aequinoctialstunden. Aus diesen Ausdrücken hat man schließen wollen, daß man sich zu Rom unter den Antoninen nicht allgemein der Stunden von gleicher Länge bedient habe.

trat nur am 21. März und am 23. September ein, denn in dieser Zeit des Jahres sind Tag und Nacht von gleicher Länge. Bei der Berechnung der Beobachtungen versäumte es Ptolemäus niemals, die zeitlichen Stunden in Aequinoctialstunden zu verwandeln*).

Auf sehr mannigfaltige Weise hat man sich über den Augenblick entschieden, den es am Vortheilhaftesten sein möchte, zum Anfange des bürgerlichen Tages zu machen.

Bei den Juden, bei den alten Athenienſern, bei den Chineſen, den Italienern u. ſ. w. fing man den Tag mit Sonnenuntergang an.

Die Italiener haben bis in die neueſte Zeit zwiſchen zwei aufeinanderfolgenden Untergängen der Sonne vierundzwanzig Stunden ohne Unterbrechung fortgezählt, und nicht in zwei Abſchnitten von je zwölf Stunden.

Eine italieniſche Uhr die ſo regulirt war, daß ſie am Tage des Winterſolſtitiums bei Sonnenuntergange 0 Stunde, 0 Minute, 0 Secunde, und vierundzwanzig zwiſchen den Untergängen vom 21. und 22. December zeigte, mußte nach und nach merklich vorgehen, d. h. ſie zeigte mehr als 0 Uhr, 0 Minute, 0 Secunde bei den auf den 21. December folgenden Sonnenuntergängen, und dieſer Unterſchied wuchs in dem Maaße, wie man ſich dem Sommerſolſtitium näherte. Das Entgegengeſetzte trat ein wenn die Sonne, in ihrer rückwärts gerichteten Bewegung, vom Sommerſolſtitium in's Winterſolſtitium zurückkehrte. Die Abweichungen in zuviel oder zuwenig würden in beiden Fällen mehrere Stunden betragen haben; man mußte alſo fortwährend an den Uhren ändern.

Dieſe ſo mangelhafte Methode hat man rechtfertigen wollen, indem man ſagte, daß die Reiſenden dadurch in jedem Augenblicke wiſſen konnten, über wie viel Stunden und Minuten des Tages ſie noch vor Anbruche der Nacht verfügen konnten. Denn da die Sonne, nach dieſer italieniſchen Eintheilung, ſtets um 24 Uhr untergehen muß, ſo

*) In keiner der von Ptolemäus mitgetheilten Beobachtungen wird die Zeit genauer als bis auf Viertelſtunden angegeben, während die neueren Aſtronomen Secunden und ſogar Zehntelſecunden berückſichtigen. Dieſe Bemerkung iſt der Erwägung für diejenigen anzuempfehlen, welche vermeinen die Aſtronomie habe ſeit den Griechen keinen Fortſchritte gemacht.

sind, wenn diese Uhr 21 Uhr oder 20 Uhr oder 19 Uhr u. s. w. zeigt, noch 3 Stunden, 4 Stunden, 5 Stunden u. s. w. vom Tage übrig. Doch welchen Werth kann ein solcher Vortheil wohl dem Uebelstande gegenüber haben, daß man genöthigt ist fortwährend an der Zeit nachzuhelfen (toccare il tempo sagt man jenseits der Alpen), besonders wenn man überlegt, daß sich die italienischen Uhren nur schwer mit einem geregelten Leben in Uebereinstimmung bringen lassen; denn die Stunden der Mahlzeiten, der Arbeit und der Ruhe, die Stunden in welchen die Thätigkeit in den öffentlichen Aemtern eröffnet und geschlossen wird, können in einem solchen Systeme nicht fest stehen, und ändern sich sehr merklich mit den Jahreszeiten. Das sind übrigens im Wesentlichen die Gründe, welche ausgezeichnete Italiener ihren Landsleuten vorgelegt haben, um sie einer Gewohnheit zu entreißen, zu deren Gunsten in der That Nichts als ihr Alter angeführt werden konnte.

Die Babylonier, die Syrer, die Perser, die Neugriechen, die Bewohner der balearischen Inseln u. s. w. haben zum Tagesanfang den Sonnenaufgang gewählt.

Eine solche Wahl hat man aber nur in Zeiten der Unwissenheit treffen können, denn eine wohl regulirte Uhr kann beim Aufgange der Sonne mehrere Tage hintereinander nicht dieselbe Stunde angeben. Uebrigens ist unter den astronomischen Erscheinungen keine größerer Unsicherheit und vielfacheren Irrthümern ausgesetzt, als der Aufgang und der Untergang der Gestirne.

Die alten Araber, denen hierin der Verfasser des Almageſt, Ptolemäus, folgte, begannen den Tag um Mittag.

Diesen Gebrauch haben die neueren Astronomen ganz allgemein angenommen. Der Augenblick in welchem man das Datum ändert, wird damit auf unzweideutige Weise durch ein bei hellem Himmel leicht zu beobachtendes Phänomen bezeichnet. Der Durchgang der Sonne durch eine nach dem Meridian orientirte Ebene, Lauf und Länge des Schattens eines Zeigers, zeigen selbst schon auf einer grobgearbeiteten Sonnenuhr mit aller wünschenswerthen Schärfe den Augenblick an, wo ein wahrer Tag endet, den Augenblick wo der wahre nachfolgende Tag beginnt: durch dieselben Beobachtungsweisen, nur mit Rücksicht

auf die Zeitgleichung, bestimmt man auch Anfang und Ende der mittleren Sonnentage.

Die neueren Astronomen rechnen, wie Ptolemäus es that, von einem Mittage zum andern vierundzwanzig Stunden hintereinander.

Gleichsam um zu beweisen daß alle möglichen Verschiedenheiten auftreten, sobald die Wahl der freien Bestimmung des Menschen überlassen ist, haben endlich die Egypter, mit ihnen Hipparch, die alten Römer, die Franzosen, die Engländer und die Spanier den Anfang des bürgerlichen Tages unabänderlich auf die Mitternacht festgesetzt. Unter den neueren Astronomen ist Copernicus diesem Brauche gefolgt.

Es mag zum Schluß noch bemerkt werden, daß der Anfang des astronomischen Tages, wenn er auf den Mittag gesetzt wird, um zwölf Stunden später fällt als der Anfang des bürgerlichen Tages.

Sechstes Kapitel.

Von den Sonnentagen.

Unter Sterntag verstanden wir den Zeitraum, der zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen eines Sternes verfließt, oder zwischen zwei Eintritten des diesem Sterne zugehörigen Stundenkreises in denselben Meridian; unter wahrem Sonnentage versteht man den Zeitraum zwischen zwei aufeinander folgenden Meridiandurchgängen der Sonne, d. h. zwischen zwei Meridianeintritten derjenigen Stundenkreise, auf welchen sich dies Gestirn an zwei aufeinander folgenden Tagen befindet.

Der Sonnentag ist offenbar länger als der Sterntag. In der That, wenn heute der Stundenkreis, auf welchem sich die Sonne gestern befand, zum Meridian zurückkommt, oder wenn, was dasselbe ist, der Sterntag verflossen ist, so wird dies Gestirn, infolge der eigenen Fortbewegung die es seit dem gestrigen Tage erlitten hat, einen östlicheren Stundenkreis einnehmen; es muß sich also die Fixsternsphäre noch um eine gewisse Größe von Ost nach West drehen, damit der Sonnentag voll werde, und die Sonne scheinbar infolge ihrer täglichen Bewegung eine ganze Umdrehung vollbracht habe.

Den Sonnentag theilt man, so wie den Sterntag, in vierundzwanzig Stunden, nur sind die Stunden, Minuten und Secunden einer nach der Sonne regulirten Uhr etwas länger als die Stunden, Minuten und Secunden einer nach den Sternen regulirten Uhr.

Die Ursache des soeben angeführten Unterschieds zwischen dem Sonnentage und dem Sterntage hat noch eine andere Folge, auf welche ich die Aufmerksamkeit des Lesers jetzt lenken muß.

Ich nehme an der Stundenkreis eines Sternes und der Stundenkreis der Sonne treten heute gleichzeitig in den Meridian; morgen nach Ablauf des Sterntages wird sich der Stundenkreis der Sonne östlicher befinden, und übermorgen wird der Winkel zwischen diesen beiden Stundenkreisen noch um einen gewissen Betrag größer geworden sein; endlich werden durch Anhäufung dieser kleinen Bewegungen die Stundenkreise einen rechten Winkel miteinander machen, dergestalt daß wenn der des Sternes auf den Nullpunkt des Aequators trifft, der Stundenkreis der Sonne auf den 90. Grad fällt.

Der anfänglich mit der Sonne gleichzeitig durch den Meridian gehende Stern wird dann etwa einen Vierteltag früher durchgehen. Aber bei 90 Graden wird die gegenseitige Entfernung der erwähnten Stundenkreise nicht stehen bleiben, und die Entfernung der Endpunkte derselben im Aequator wird endlich 180 Grade betragen; an diesem Tage wird der Stern, welcher vor einiger Zeit gleichzeitig mit der Sonne den Meridian passirte, um so viele Stunden der Sonne vorangehen, als zu einer halben Umdrehung der Himmelskugel gehören, d. h. um einen halben Tag ungefähr.

Wenn die beiden Punkte, in welchen die beiden Stundenkreise den Aequator treffen, um 270 Grade von einander entfernt sein werden, d. h. um drei Viertel des ganzen Umkreises, dann werden drei Viertelstage zwischen dem vorangehenden Meridiandurchgange des Sternes und dem der Sonne verfließen. Zuletzt werden der Stundenkreis des Sterns und der Stundenkreis der Sonne wiederum zusammenfallen, und gleichzeitig durch den Meridian gehen; man darf aber nicht übersehen, daß in der Zwischenzeit zwischen diesen beiden Zusammentreffen, der Stern einmal öfter als die Sonne durch den Meridian gegangen ist.

Siebentes Kapitel.

Tropiſches Jahr. — Perigäum. — Apogäum.

Die ſcheinbare Bewegung der Sonne in der Ebene der Ekliptik, in Graden, Minuten und Secunden ausgedrückt, nennt man allgemein die eigene Winkelbewegung der Sonne.

Die Zeitdauer welche die Sonne braucht, um zu demſelben Aequinoctium oder demſelben Solſtitium zurückzukehren, d. h. um vermöge ihrer eigenen Bewegung ſcheinbar einen ganzen Umlauf zu vollenden, hat man tropiſches Jahr genannt. Daſſelbe enthält keine genaue Anzahl von Sonnentagen, ſondern beträgt 365 und etwa ein Viertel ſolcher Tage. Dieſe Jahresdauer ergibt in Bruchtheilen des Grades den mittleren Werth der eigenen Bewegung der Sonne; man braucht zu dem Zweck nur die 360 Grade, aus denen der ganze Umfang des von der Sonne durchlaufenen Kreiſes der Ekliptik beſteht, durch die $365^1/_4$ Tage zu dividiren: man erhält als Reſultat $0^o\ 59'\ 8''33$.

Dabei habe ich abſichtlich die kleine Bewegung des Aequinoctiums außer Acht gelaſſen, welche die Aſtronomen Präceſſion nennen; denn dieſe kleine Bewegung von ungefähr 50 Secunden jährlich, wie ſchon oben bemerkt wurde, könnte nur unmerklich den Werth ändern, den wir für die mittlere, tägliche Fortrückung der Sonne gefunden haben.

Die auf den Stundenkreiſen gemeſſenen, veränderlichen Winkelabſtände der Sonne vom Aequator heißen die Declinationen oder Abweichungen der Sonne. Dieſelben ſind nördlich von der Frühlingsnachtgleiche bis zur Herbſtnachtgleiche, und ſüdlich von der Herbſtnachtgleiche bis zur Frühlingsnachtgleiche. Die größte nördliche Declination fällt ins Sommerſolſtitium, und beträgt gegenwärtig in runder Zahl $23^o\ 27'\ 30''$; die größte ſüdliche Declination, welche ebenſo groß iſt, fällt ins Winterſolſtitium.

Den in der Ebene der Ekliptik liegenden größten Kreis durchläuft die Sonne nicht gleichförmig; während dieſe Bewegung in 24 Sternſtunden an einer Stelle etwas mehr als 1 Grad beträgt, findet man ſie

an einer andern Stelle merklich geringer. Denjenigen Punkt in welchem die eigene Bewegung der Sonne am Beträchtlichsten ist, nennt man Perigäum.

Derjenige Punkt dagegen, in welchem diese Bewegung am Kleinsten ist, wird Apogäum genannt. Der mittlere Werth der täglichen eigenen Bewegung dieses Gestirns beträgt, wie ich schon oben bemerkte, 0° 59′ 8″33.

Daß der Lauf der Sonne von West nach Ost gerichtet ist, wurde schon im Allgemeinen bemerkt. Untersucht man aber genau die jedesmalige Richtung der einzelnen Bogen, welche die Sonne täglich, infolge ihrer eigenen Bewegung durchläuft, und die man ihrer Kleinheit wegen wie gerade Linien betrachten kann; prüft man die Richtung dieser Bogen, die, einer an den andern gesetzt, uns den größten Kreis der Ekliptik ergeben haben: so findet man nur zwei, bei den Solstitien belegene, die genau von Westen nach Osten gerichtet sind. Andere Bogenstücke, besonders in der Gegend der Aequinoctien, sind gegen die Ost-Westlinie sehr merklich geneigt.

Achtes Kapitel.

Ermittelung des Gesetzes, nach welchem die Sonne ihre Geschwindigkeit ändert, und der Natur der krummen Linie, welche sie durchläuft.

Auf der Fixsternsphäre haben wir bereits die 365 Positionen aufgetragen, welche die Sonne, im Laufe des Jahres, jedesmal in dem Augenblicke einnahm wo sie durch den Meridian ging. Diese Augenblicke werden freilich nicht durch Zwischenzeiten von ganz gleicher Größe getrennt; aber es bedarf nur einer kleinen Rechnung um diese Unterschiede zu berücksichtigen, und sich auf diese Weise zu überzeugen, daß gleichen Zeiten nicht gleiche Verrückungen der Sonne im Winkel entsprechen. Im Monat Juli ist die Fortbewegung am Geringsten, und zu Anfang Januar durchläuft die Sonne in derselben Zwischenzeit die größte Anzahl von Minuten. Bei Betrachtung der 365 auf der Kugel bezeichneten Punkte sieht man überdies, daß der Uebergang

von der größten zur kleinſten Geſchwindigkeit nach und nach vor ſich geht.

Es fragt ſich ob dieſe Aenderung der Geſchwindigkeit wirklich ſtattfindet, oder ob ſie auf einem veränderten Abſtande des Geſtirns von der Erde beruht; dies ſoll jetzt unterſucht werden.

Angenommen die Sonne ſei von unveränderlicher Größe, ſo wird der Winkel, unter dem ſie von der Erde aus erſcheint, mit der Annäherung zunehmen und bei größerer Entfernung abnehmen. Fügen wir zu den Daten, welche wir ſchon beſitzen, 365 Meſſungen des Sonnendurchmeſſers hinzu, ſo finden wir, daß dieſer Durchmeſſer das ganze Jahr hindurch fortwährenden Veränderungen unterliegt, und daß er, was überraſchen muß, im Winter größer iſt als im Sommer; man kommt hiernach zu dem paradoxen Ergebniß, über welches übrigens ſpäter ſoll Rechenſchaft gegeben werden, daß wir wenn es kalt iſt in größerer Nähe bei der Sonne ſind, als wenn es warm iſt.

Eine nähere Betrachtung ergiebt Folgendes. Der Sonnendurchmeſſer iſt größer an denjenigen Punkten, wo die Winkelgeſchwindigkeit der Sonne am größten war, und kleiner an den Stellen, wo dieſe Winkelgeſchwindigkeit unter allen die kleinſte war. Aus dieſer numeriſchen Vergleichung darf man aber nicht voreilig ſchließen, daß die Aenderung der Winkelgeſchwindigkeit ganz allein von der Aenderung in der Entfernung dieſes Geſtirns herrühre; denn ſollte dieſe Erklärung die richtige ſein, ſo müßte die Geſchwindigkeitsänderung der Entfernung im Abſtande proportional ſein, und dagegen ſprechen alle Beobachtungen. Die Aenderung der Geſchwindigkeit iſt nämlich größer als es die Aenderung der Entfernung mit ſich bringen würde, welche durch die Aenderungen des Durchmeſſers angegeben wird.

Auf einem Blatte Papier wollen wir den Punkt bezeichnen, welchen die Erde einnimmt, und Linien nach den Stellungen ziehen, die von der Sonne am 21., 22., 23. März u. ſ. w., das ganze Jahr hindurch eingenommen werden. Man nennt dieſe Linien die Radienvectoren. Die Winkel welche dieſe Radien untereinander einſchließen, erhält man durch Vergleichung derjenigen Punkte an der Himmelskugel, in welchen die Sonne geſtanden hat. Es iſt ſchon oben bemerkt worden, daß dieſe Winkel, bei gleichen Zwiſchenzeiten, um den

1. Januar herum am größten ſind, um den 1. Juli herum am kleinſten, und in der dazwiſchen liegenden Zeit mittlere Werthe haben. Auf einem dieſer Radienvectoren, und zwar auf dem welcher dem 1. Januar entſpricht, wollen wir eine gewiſſe, an ſich beliebige Länge annehmen (welche die Entfernung der Sonne von der Erde darſtellen ſoll), und dieſelbe in 1000 Theile theilen. Sogleich iſt Alles in der zu zeichnenden Figur beſtimmt, und die Längen aller übrigen Radienvectoren ſind nichts als eine Folge der von uns getroffenen Wahl. Der Radiusvector nämlich für irgend einen Tag im Jahre, und der von uns angenommene und in 1000 Theile getheilte Radiusvector werden in ihren Längen den zu beiden Zeitpunkten beobachteten Sonnendurchmeſſern umgekehrt proportional ſein. Sonach können wir auf jeden Radiusvector die ihm entſprechende Länge auftragen, und durch die dadurch beſtimmten Endpunkte eine Curve ziehen, welche die von der Sonne in der Ekliptik durchlaufene Bahn genau darſtellen wird. Dieſe Bahn iſt nicht kreisförmig, ſondern länglich in der Richtung derjenigen Linie, welche durch die Oerter am 1. Juli und am 1. Januar geht; unterſucht man dieſelbe genauer, ſo findet man daß ſie eine Ellipſe iſt, und daß die Erde darin denjenigen Brennpunkt einnimmt, der demjenigen Scheitelpunkte zunächſt liegt, in welchem ſich die Sonne am 1. Januar befindet.

Die Punkte welche an den Enden der großen Axe der Ellipſe liegen, und in welchen die Sonne die größte und die kleinſte tägliche Winkelbewegung hat, heißen die Erdnähe und Erdferne oder Perigäum und Apogäum. Aus der Vergleichung von Beobachtungen, welche von einander durch eine gewiſſe Anzahl von Jahren getrennt ſind, ergibt ſich daß das Perigäum am Himmel keineswegs unbeweglich iſt, ſondern in einer von Weſt nach Oſt gerichteten Bewegung den benachbarten Sternen zurückt, und daß dieſe jährliche Vorrückung 12″ beträgt[3]).

Es bleibt noch übrig die Geſetze aufzufinden, welche die Aenderungen der Geſchwindigkeit und des Abſtands untereinander verknüpfen. Keppler entdeckte nach vieljährigen Unterſuchungen, daß die Multiplication des veränderlichen Bogens, welchen die Sonne an verſchiedenen Stellen ihrer Bahn innerhalb vierundzwanzig Stunden zu-

rücklegt, in den entsprechenden Radiusvector eine unveränderliche Größe gibt. Dies Produkt mißt aber das Doppelte der von beiden Radienrectoren eingeschlossenen Fläche oder der Anzahl von Quadratmeilen, wenn man es so ausdrücken will, welche diese beiden Radien und der ihre Endpunkte verbindende Bogen einschließen; in einer gegebenen Zeit beschreibt also der Radiusvector stets gleiche Flächen. Damit diesem Gesetze Genüge geschehe, muß der Winkel zwischen zweien aufeinander folgenden Radien um so kleiner sein, je länger diese Radien selbst sind.

Wir haben in gegenwärtigem Kapitel, um es kurz zu wiederholen, aus Beobachtungen deren Richtigkeit Jedermann prüfen kann, gefunden daß die Bahn, welche von der Sonne in der Ebene der Ekliptik beschrieben wird, eine Ellipse ist, in deren einem Brennpunkte sich die Erde befindet; daß die Sonne in dieser Ellipse sich mit ungleichförmiger, aber von den veränderlichen Abständen der Sonne von der Erde abhängiger Geschwindigkeit bewegt; daß endlich die von den Radienvectoren der Sonne in gleichen Zeitintervallen überstrichenen Flächenräume untereinander gleich sind, dergestalt daß, von einem bestimmten Radiusvector angefangen, die durchlaufenen Flächen den Zeiten proportional sind.

Neuntes Kapitel.

Astronomische Längen und Breiten.

Anfänglich hatten wir die Sterne auf den Stundenkreis des Sirius bezogen; jetzt aber sind wir im Stande den Bogen des Aequators zu bestimmen, welcher den dem Sirius-Stundenkreise entsprechenden Punkt von demjenigen Punkte des Aequators trennt, in welchem sich die Frühlingsnachtgleiche befindet; in Zukunft können wir also den Stundenkreis der Frühlingsnachtgleiche als Anfangspunkt der auf dem Aequator gemessenen Bogen annehmen, welche zur Bestimmung der Sternörter dienen. Diese vom Frühlingsnachtgleichenpunkte an gemessenen und von West gegen Ost gerechneten Abstände werden, wie

ſchon bemerkt, die Geradenaufſteigungen oder Rectaſcenſionen genannt. Ebenſo iſt auch ſchon geſagt worden, daß die auf den entſprechenden Stundenkreiſen gezählten Abſtände der Sterne vom Aequator die Declinationen genannt werden.

Die Oerter der Sterne haben wir in Bezug auf den Pol und den Aequator beſtimmt, deren Lagen uns durch die Vorgänge bei der täglichen Bewegung ſelbſt geliefert werden. Jetzt wiſſen wir auch welches die Lage der Bahn iſt, welche die Sonne alljährlich zu beſchreiben ſcheint, und wir können alſo in Zukunft die Oerter der Sterne in Bezug auf dieſe Curve finden. Von einem Sterne aus ſei ein Bogen eines größten Kreiſes ſenkrecht auf die Ekliptik gefällt, ſo wird der Abſtand des Sternes von der Ekliptik, auf dieſem ſphäriſchen Perpendikel gemeſſen, in Bezug auf die Ekliptik daſſelbe ſein, was die Declination in Bezug auf den Aequator war: dieſen Winkelabſtand nennt man die Breite. Der Abſtand in welchem ſich der Durchſchnitt des Breitenkreiſes und der Ekliptik vom Frühlingsäquinoctium befindet, heißt die Länge; dieſer Abſtand wird nicht wie vorhin auf dem Aequator, ſondern auf der Ekliptik gerechnet. Kurz man erkennt leicht, daß Länge und Breite in Bezug auf die Ekliptik genau das ſind, was Rectaſcenſion und Declination in Bezug auf den Aequator.

Die Längen und Breiten kann man aus den Rectaſcenſionen und Declinationen mit aller wünſchenswerthen Schärfe herleiten, ſowohl durch graphiſche Conſtruction auf einem Globus, der Aequator und Ekliptik enthält, als mittelſt der Rechnung, was jedenfalls vorzuziehen iſt.

Sowie die Geradenaufſteigungen ſind auch die Längen einer jährlichen Veränderung unterworfen, infolge der Bewegung, welche wir die Präceſſion der Aequinoctien genannt haben; aber man darf hier einen weſentlichen Unterſchied nicht überſehen, auf den wir ſpäterhin näher eingehen werden, wenn wir von der Erſcheinung zu dem übergehen, was wirklich ſtattfindet: die Präceſſionsbewegung ändert nämlich gleichzeitig Rectaſcenſionen und Declinationen, während die Breiten unverändert bleiben. Will man alſo, wie die Alten gethan haben, von dieſen Veränderungen in den Coordinaten der Geſtirne eine Erklärung geben, ohne den Aequator und die Ekliptik ſelbſt am Himmel zu

verrücken, so muß man annehmen, die sämmtlichen Sterne besitzen, abgesehen von der täglichen Bewegung, noch eine jährliche Bewegung von 50″3, welche der Ekliptik parallel von Ost nach West gerichtet ist.

Die alten Astronomen maßen mit ihren Instrumenten unmittelbar Längen und Breiten; die neueren dagegen ziehen es vor, die Rectascensionen und Declinationen zu bestimmen, und daraus die beiden andern Coordinaten (Länge und Breite) durch Rechnung herzuleiten. Dies Verfahren ist beträchtlich genauer als jenes, weil das Mittagsfernrohr und der Mauerkreis leicht berichtigt werden können, was bei den ehemals gebräuchlichen Instrumenten keineswegs der Fall war.

Zehntes Kapitel.

Ueber den Einfluß, welchen die Declinationen der Sonne überall auf der Erde auf die Länge der Tage ausüben.

Wir machen wiederum die Voraussetzung, daß die Größe der Erde im Vergleich mit den Entfernungen der Gestirne verschwindet, so daß die auf parallele Ebenen bezogenen Erscheinungen fast genau dieselben sein werden, gleichviel ob man sie vom Mittelpunkte der Erde aus, oder von einem Punkte ihrer Oberfläche beobachtet. Deßwegen dürfen wir, ohne einen merklichen Fehler zu begehen, so lange nur von Aufgängen und Untergängen der Sonne die Rede sein wird, annehmen sie würden im Erdmittelpunkte beobachtet, und der Horizont, d. h. die Ebene, welche die sichtbaren Gegenstände von den nicht sichtbaren trennt, ginge dem Horizonte an der Oberfläche parallel, durch denselben Mittelpunkt. Zur Vereinfachung der Erklärung wollen wir uns die Sonne ohne merkliche Größe, oder auf einen leuchtenden Punkt beschränkt denken. Man kann von dieser hypothetischen Bedingung zu der Wirklichkeit übergehen, wenn man annimmt daß der Punkt, dessen Aufgang und dessen Untergang man bestimmen soll, 15′ nördlicher oder südlicher liegt als der Sonnenmittelpunkt, denn der Halbmesser oder Radius dieses Gestirns beträgt im Mittel 15′. Ferner

wollen wir die Annahme machen, daß die Sonne täglich denjenigen Parallel beschreibt, welcher der Declination ihres Mittelpunkts im Augenblicke des Meridiandurchgangs für zwei nebeneinander liegende Tage beschreibt. Die nach Norden oder Süden gerichtete Bewegung dieses Gestirns beträgt allerdings mitunter nahe 20′, aber von diesen Einzelnheiten darf man absehen, sobald es sich nur darum handelt einzusehen, wie das Fortrücken der Sonne nach Süden, oder in der entgegengesetzten Richtung auf die Tageslänge einwirkt.

Es ist durch Beobachtung bewiesen, daß es auf der Erde eine Reihenfolge von Punkten gibt, in denen die Verticallinien senkrecht auf der Weltaxe stehen, eine Reihenfolge von Punkten, deren Zenithe 90° von beiden Polen entfernt liegen. Aus der Gesammtheit aller dieser Punkte entsteht die Linie, welche man gemeinlich den Erdäquator nennt. In allen Punkten des Erdäquators wird die Weltaxe im Horizonte liegen, und die Weltpole werden auf zwei diametral gegenüberstehenden Punkten desjenigen größten Kreises liegen, dessen Umfang den Horizont bezeichnet. Betrachten wir die Sonne am 21. März; an diesem Tage beschreibt sie den Aequator, und dieser wird in den Aequatorialgegenden durch den Horizont in zwei gleiche Theile getheilt, weil der Horizont daselbst die Weltaxe enthält. Es folgt daraus daß die beiden Theile, deren einer zwischen den Punkten des Aufgangs und des Untergangs liegt, während der andere unterhalb des Horizonts den Punkt des Untergangs mit dem des Aufgangs verbindet, untereinander gleich sind. Tag und Nacht sind also gleich lang, und beim Meridiandurchgange steht die Sonne daselbst gerade im Zenith. Vom 21. März bis zum nächsten 23. September beschreibt die Sonne, infolge ihrer täglichen Bewegung, nicht länger größte Kreise, aber die Mittelpunkte der kleinen Kreise, die sie durchläuft, liegen alle auf der Polaraxe, die selbst, wie schon bemerkt, im Horizonte liegt, und aus diesem Grunde theilt der Horizont auch alle kleinen Tagekreise, welche die Sonne beschreibt, in zwei gleiche Theile, und stets wird vom Aufgange bis zum Untergange ebenso viel Zeit verfließen, als vom Untergange bis zum Aufgange. Mit andern Worten: unter dem Aequator ist der Tag fortwährend der Nacht gleich, und die zuletzt besprochenen Tage unterscheiden sich nur dadurch

vom 21. März, daß die Sonne zur Zeit ihrer größten Höhe nicht im Zenith steht; am 21. Juni ist sie von diesem Punkte sogar um 23° 27½′ entfernt, nämlich um den Betrag der Schiefe der Ekliptik. Die Erscheinungen, welche sich in der Zeit darbieten, wo die Sonne den südlich belegenen Theil ihrer Bahn durchläuft, sind denjenigen durchaus gleich, welche wir im nördlichen Theile beobachtet haben, und so kommt es, daß man vom Aequator folgende Erklärung aufstellen kann: es ist diejenige Erdgegend, in welcher die Tage fortwährend so lang sind als die Nächte, und wo die Sonne zweimal im Jahre durchs Zenith geht.

Es gibt auf der Erdoberfläche zwei Gegenden, denen sich die Seefahrer sehr genähert haben, ohne sie doch jemals zu erreichen, wegen der dort befindlichen, undurchdringlichen Eismassen; an diesen beiden Stellen würden die Verticallinien mit der Weltaxe zusammenfallen, und das Zenith würde dem Nord- oder dem Südpole entsprechen. Wir wollen uns hier auf die nördliche Gegend beschränken; Alles, was wir davon zu sagen haben, gilt Wort für Wort auch von der diametral gegenüberstehenden. Am Nordpole müßte man, um die Richtung des Horizontes zu finden, durch den Erdmittelpunkt eine auf die Verticale senkrechte Ebene führen; während dieselbe Ebene am Aequator, ebenfalls durch den Erdmittelpunkt gelegt, auf der Weltaxe senkrecht stehen müßte. Indem nun diese beiden Linien, die Verticale und die Weltaxe, zusammenfallen, müssen die beiden senkrecht auf ihnen stehenden Ebenen gleichfalls zusammenfallen: die Richtung des Horizonts ist also am Nordpol einerlei mit der des Aequators. Alles was oberhalb dieser Ebene liegt, wird sichtbar, was unterhalb derselben liegt, muß dem Auge verborgen sein. Da nun die Sonne vom 21. März bis zum 23. September nördliche Declination hat, so wird sie für einen Beobachter am Nordpol nicht unter den Horizont hinabsinken; sechs Monate hintereinander wird die Sonne daselbst nicht untergehen, sondern tagtäglich einen Kreisumfang beschreiben, dessen Ebene senkrecht auf der Weltaxe steht, einen Kreisumfang dessen Punkte sämmtlich gleich hoch über dem Horizonte stehen werden. Am 21. März und am 23. September, wenn der Sonnenmittelpunkt im Aequator steht, wird die nördliche Hälfte des Gestirns vierundzwanzig

Stunden hindurch sichtbar sein, die südliche dagegen unsichtbar. Dies ist die eigenthümliche Erscheinung, welche den Uebergang von einem sechsmonatlichen Tage zu einer gleichlangen Nacht bildet.

Elftes Kapitel.

Erklärung der ungleichen Längen der Sonnentage.

Wir gehen jetzt über zur Untersuchung der Verschiedenheiten, welche die ungleich große tägliche Bewegung der Sonne, die verschiedene Richtung dieser Bewegung und die verschiedenen Entfernungen der durchlaufenen Bogen vom Aequator, in den Sonnentagen hervorbringen können.

Würde die Sonne infolge ihrer eigenen Bewegung während der Dauer eines Sonnentages genau von einem der 360 Stundenkreise, von denen oben (im 1. Kapitel, S. 214) die Rede gewesen, bis zum nächstfolgenden fortgehen, so würden alle Sonnentage die Sterntage um dieselbe Größe übertreffen, und sie würden also untereinander gleich lang sein. Aber diese Regelmäßigkeit ist in der Natur nicht vorhanden.

Wie schon bemerkt worden ist, bewegt sich die Sonne nicht gleichförmig, sondern ihre Fortrückung ist beträchtlicher in dem Punkte ihrer Bahn, den man das Perigäum nennt, als in dem gegenüberstehenden, welcher das Apogäum heißt. Nun gründet sich aber der Unterschied zwischen Sonnentag und Sterntag auf die eigene Bewegung des Gestirns; diese Fortbewegung ist ungleichförmig, folglich muß man, je nach der Jahreszeit, ungleiche Größen den Sterntagen hinzufügen, um die Sonnentage zu erhalten. Schon aus dieser einzigen Ursache müssen die Sonnentage ungleich lang sein.

Es ist auch schon davon die Rede gewesen, daß es zwei Punkte in der Sonnenbahn gibt (die Solstitien), in welchen die eigene Bewegung der Sonne genau von West nach Ost gerichtet ist; an zwei andern Punkten (den Aequinoctien) macht diese Bewegung dagegen mit der Richtung genau nach Osten beträchtliche Winkel, und hierin

liegt eine zweite Urſache der Ungleichheit der Sonnentage. Faſſen wir nämlich den Augenblick ins Auge, wo derjenige Stundenkreis in den Meridian tritt, auf welchem ſich geſtern ein Stern und die Sonne zugleich befanden. Um nun den Stundenkreis zu finden, deſſen Zuſammenfallen mit der Meridianebene heute das Ende des Sonnentages beſtimmen wird, muß man im Augenblicke wo das erwähnte Zuſammenfallen eintritt, von dieſem Meridian und von dem Punkte aus, den die Sonne geſtern einnahm, einen Bogen antragen, welcher der täglichen eigenen Bewegung der Sonne gleich iſt. Ein Jeder ſieht aber leicht, daß wenn man dieſen Bogen von gegebener Länge auf die Kugel aufträgt, das Ende deſſelben einen um ſo weniger öſtlichen Punkt treffen wird, je mehr er gegen eine Oſtweſtlinie geneigt iſt.

Es wird demnach der Stundenkreis, der durch den Endpunkt des in einem Tage durchlaufenen Bogens geht, um ſo weniger vom Meridian entfernt ſein, je mehr dieſer tägliche Bogen von der Oſtweſtlinie abweicht; oder mit andern Worten, von der ſchiefen Richtung der täglichen Bewegung der Sonne wird die Größe der Verſchiedenheit des Sonnentages und des Sterntages abhängig ſein.

Betrachten wir endlich die dritte Urſache der Ungleichheit, die von den zwiſchen Null und den Solſtitialpunkten, d. h. von 0^0 bis $23^0\ 27'$ veränderlichen Declinationen abhängt, in denen an den verſchiedenen Tagen des Jahres die eigene Bewegung der Sonne vor ſich geht.

Wiederum gehen wir von dem Augenblicke aus, wo der geſtern durch die Sonne und einen Stern gehende Stundenkreis heute mit dem Meridian zuſammenfällt. Der Sterntag iſt dann vorüber; um aber zu wiſſen, wieviel der Sonnentag davon verſchieden iſt, muß man vom Meridian aus, und indem man, wie vorhin geſchehen, von dem Punkte beginnt, durch welchen geſtern die Sonne ihrer Declination nach ging, einen Bogen größten Kreiſes in der gehörigen Richtung auf der Kugel ziehen, welcher der eigenen, vierundzwanzigſtündigen Bewegung dieſes Geſtirns gleich iſt; durch den öſtlichen Endpunkt dieſes Bogens wird alſo ein Stundenkreis beſtimmt werden, öſtlicher als der des fraglichen Sternes, durch deſſen Eintritt in die Meridianebene das Ende des Sonnentages bezeichnet wird. Ein Zweieck auf der

Kugelfläche wird aber um ſo enger, je näher man dem Pole kommt, und um ſo breiter, je näher am Aequator die betrachteten Punkte liegen. Die Folge hiervon iſt, daß wenn bei unveränderter Größe und Richtung die eigene Bewegung der Sonne nördlicher vor ſich ging, als an der Stelle, deren wir uns zur Beſtimmung des Unterſchiedes des Sterntages vom Sonnentage bedient haben, dieſer tägliche Bogen nicht zwiſchen den beiden Kreiſen liegen kann, welche das vorige Zweieck begrenzen. Das Oſtende dieſes Bogens würde alſo auf ein breiteres Zweieck, als das vorige war, führen, und mithin auch zu einem größeren Unterſchiede zwiſchen den beiden in Rede ſtehenden Tagen. Unter ſonſt ganz gleichen Umſtänden würde das Gegentheil eintreten, fände die eigene Bewegung näher am Aequator ſtatt; es iſt nämlich klar, daß alsdann der durch das Ende des von der Sonne beſchriebenen täglichen Bogens gelegte Stundenkreis weniger öſtlich liegen würde, als derjenige, den wir in der anfänglichen Stellung des Geſtirns feſtgeſetzt hatten.

Um es allgemein auszudrücken, würde alſo, unter ſonſt ganz gleichen Umſtänden, der Sonnentag umſomehr vom Sterntage verſchieden ſein, je nördlicher der von der Sonne in einem Tage durchlaufene Bogen läge, oder je größer ſeine Declination wäre.

Faſſen wir jetzt alles Bisherige zuſammen:

Drei Urſachen*) wirken zuſammen, um die Sonnentage verſchieden lang zu machen: die Ungleichförmigkeit der täglichen Fortbewegung der Sonne, die verſchiedenen Richtungen, und endlich die größeren oder kleineren Winkelabſtände vom Aequator, in welchen dieſe Bewegung ſtattfindet.

Sollten alſo das ganze Jahr hindurch die Sonnentage um eine und dieſelbe Größe länger ſein als die Sterntage, ſo müßte die Sonne

*) Unterſucht man die Urſachen der ungleichen Länge der Sonnentage mittelſt mathematiſcher Betrachtungen und Formeln, ſo ergibt ſich, daß eigentlich nur zwei ſolcher Urſachen vorhanden ſind: nämlich die unregelmäßige Bewegung der Sonne in ihrer Bahn und die Schiefe der Ekliptik.

Die im Texte gegebenen Auseinanderſetzungen haben zwar ihre Bedeutung für ſich; ſie können aber auch der gelehrteren Methode, die ich eben andeutete, zur Erläuterung dienen.

ſich gleichförmig bewegen, und überdies in einem dem Aequator parallelen kleinen Kreiſe, oder im Aequator ſelbſt. Dieſe zweite Bedingung iſt ebenſo unerläßlich als die erſte.

Zwölftes Kapitel.

Mittlere Zeit.

Es bedarf keineswegs einer ins Einzelne gehenden Kenntniß der drei Urſachen, welche die Länge des Sonnentages veränderlich machen, um einzuſehen daß eine Sonne, die ſich in der Ebene des Aequators gleichförmig mit einer mittleren Winkelgeſchwindigkeit von $0^o\ 59'\ 8''3 = \frac{360}{365,2422\ T.}$ bewegen würde, in Bezug auf die Stundenkreiſe der Sterne täglich gleichviel fortrücken, und folglich mittlere Sonnentage, länger als die Sterntage, und untereinander genau gleich lang darbieten müßte.

Angenommen eine ſolche Sonne ſei vorhanden, und ſie habe anfänglich eine beſtimmte Stellung gegen die wahre Sonne, ſo iſt es leicht mittelſt Tafeln, welche die Aſtronomen entworfen haben, und die man Sonnentafeln nennt, Tag für Tag die Stellung desjenigen Stundenkreiſes zu berechnen, der durch die erdichtete Sonne geht, in Bezug auf den durch die wirkliche Sonne gehenden Stundenkreis.

Auf dieſe Weiſe wird man in Stunden, Minuten und Secunden wiſſen, um wie viel der durch die erdichtete Sonne beſtimmte Mittag vor dem durch die wirkliche Sonne beſtimmten vorhergeht, oder um wie viel die wirkliche Sonne vor der erdichteten voraus iſt.

Man kann alſo eine Uhr nach dieſer erdichteten Sonne reguliren, da die Stellung dieſer Sonne gegen die ſichtbare Sonne, die man beobachtet hat oder beobachten kann, für alle Tage im Jahre bekannt ſein wird. Ergibt die Rechnung, daß die wirkliche Sonne dem Meridiandurchgange der erdichteten Sonne 5 Minuten vorhergehen muß, ſo wird eine Uhr nach dieſer letzteren Sonne gerichtet ſein, wenn ſie im Augenblicke des wahren Mittags 11 Uhr 55 Minuten zeigt.

Lehrte die Rechnung dagegen, daß die erdichtete Sonne 5 Minuten vor der wahren Sonne durch den Meridian geht, ſo müßte die nach der erdichteten Sonne geſtellte Uhr im wahren Mittage 12 Uhr 5 Minuten zeigen.

Aber, wird man fragen, welchen Vortheil kann es haben, ſeine Taſchenuhr oder ſeine Wanduhr nach einer Sonne gehen zu laſſen, die man nicht einmal ſehen kann? Ich erwiedere darauf, daß keine gleichförmig gehende Uhr mit den Meridiandurchgängen der wahren Sonne in Uebereinſtimmung bleiben kann, weil dieſe Durchgänge ſich nicht in gleichen Zeitintervallen wiederholen. Man ſagt alſo von ſeiner Uhr durchaus nichts Lobenswerthes, wenn man behauptet ſie gehe mit der Sonne. Wenn man aber die öffentlichen Uhren mit den Meridiandurchgängen der eingebildeten Aequatorialſonne will übereinſtimmen laſſen, ſo iſt nothwendig daß die Mittagszeiten dieſer Sonne nicht ſehr beträchtlich von denen der wahren Sonne abweichen, denn es iſt ja die wirkliche Sonne, welche durch ihre Gegenwart über dem Horizonte die Geſchäfte im bürgerlichen Leben regelt und regeln muß.

Die erdichtete, ſich im Aequator bewegende Sonne, welche die mittlere Zeit regulirt, muß alſo ſo angenommen werden, daß die von ihr angegebenen Mittage niemals von den Mittagen der wahren Sonne beträchtlich abweichen, eine Bedingung welche man auf folgende Weiſe erfüllt hat.

In dem Augenblicke, wo die wirkliche Sonne durch die Erdnähe geht, und in ungleich langen Bogen, infolge ihrer ſogenannten *eigenen Winkelbewegung* von Weſt nach Oſt fortrückt, läßt man eine erdichtete Sonne gleichfalls von dieſem Punkte ausgehen, und ſich in der Ekliptik mit einer gleichförmigen Geſchwindigkeit, nämlich mit der mittleren Winkelgeſchwindigkeit der wirklichen Sonne fortbewegen. Die Aſtronomen beſitzen nun Tafeln, aus denen ſie die Bewegungen der wirklichen Sonne entnehmen, und ſie können alſo täglich um Mittag den Winkel beſtimmen, welchen der Stundenkreis der wahren Sonne, und der Stundenkreis der erdichteten, in der Ebene der Ekliptik befindlichen Sonne miteinander machen. So iſt es z. B. einleuchtend, daß vom Perigäum aus, d. h. dem Punkte der größten Winkelgeſchwindigkeit der Sonne, der Stundenkreis der wahren Sonne

östlicher liegen wird, als der Stundenkreis der mittleren ekliptischen Sonne; daß ferner beide im Apogäum wieder zusammenfallen werden, und daß von diesem Punkte an bis zum abermaligen Durchgange durchs Perigäum der Stundenkreis der wahren Sonne westlicher liegen muß, als der Stundenkreis der eingebildeten Sonne. Diese beiden Sonnen werden den Aequator, d. h. das Frühlingsäquinoctium, nicht gleichzeitig erreichen; in dem Augenblicke aber wo die eingebildete, in der Ekliptik fortgehende Sonne diesen Punkt erreicht, läßt man eine zweite eingebildete, mit derselben Winkelgeschwindigkeit begabte Sonne von diesem Nachtgleichenpunkte ausgehen, und sich im Aequator fortbewegen. Es hat keine Schwierigkeit für jeden Tag die gegenseitige Lage der Stundenkreise dieser erdichteten Aequatorialsonne und der Stundenkreise jener ersten erdichteten, in der Ekliptik fortgehenden Sonne zu bestimmen. Da wir aber schon die Stellungen kennen, welche die Stundenkreise der erdichteten ekliptischen Sonne gegen die wahre Sonne einnehmen, so werden wir durch einfaches Addiren oder Subtrahiren erfahren, in welcher gegenseitigen Stellung sich die Stundenkreise der erdichteten Aequatorialsonne zu den Stundenkreisen der wahren Sonne befinden. Die durch diese Aequatorialsonne bestimmten Sonnentage werden offenbar von gleicher Länge untereinander sein; nach ihr bestimmt man die mittlere Zeit. Der Augenblick des jedesmaligen Meridiandurchgangs des Stundenkreises dieser Sonne ist zugleich der Augenblick des mittleren Mittags *).

Untersuchen wir jetzt ob sich die Mittage, welche dieser Sonne entsprechen, jemals merklich von denjenigen entfernen können, welche durch die wirkliche Sonne bezeichnet werden.

Um Mittag des 3. Novembers 1851 war z. B. der Stundenkreis der mittleren Sonne hinter dem Stundenkreise der wahren Sonne um

*) Die Genauigkeit, mit welcher sich die Neueren bemüht haben die Zeit mit Hülfe erdichteter Sonnen einzutheilen, wäre bei den Alten, selbst als man Wasseruhren zu gebrauchen anfing, offenbar überflüssig gewesen. Zu Rom z. B. bestand die Sitte, daß ein Diener der Consuln von der Terrasse des Senatspalastes herab mit lautem Rufe den Augenblick verkündigte, wo die Sonne aufging und im Meridian stand *). War aber die Sonne durch Wolken verdeckt, so gerieth für diesen Tag Alles in Unordnung (Vergl. 2. Buch, 5. Kap. S. 40.)

einen Winkel zurück, welcher erst in $16^m\ 17^s\ 2$ durchlaufen wurde. Dies war der größte Unterschied, um welchen im Jahre 1851 der wahre Mittag dem mittleren voranging.

Am 11. Februar Mittags desselben Jahres befand sich dagegen der Stundenkreis der mittleren Sonne vor dem Stundenkreis der wahren Sonne um einen Winkel, der in $14^m\ 32^s\ 6$ durchlaufen wurde. Dies ist die beträchtlichste Größe, um welche im Jahre 1851 der wahre Mittag gegen den mittleren zurück war.

Indem man die gegenseitigen Stellungen der wahren Sonne und der erdichteten Aequatorialsonne, vermittelst der man die mittlere Zeit mißt, miteinander vergleicht, findet man das Ergebniß, daß die Stundenkreise beider viermal im Jahre zusammenfallen. Für Paris fand dies Zusammenfallen im Jahre 1851 statt:

Zwischen den Mittagen des 15. und 16. April,
des 15. und 16. Juni,
des 31. August und 1. September,
des 24. und 25. December.

An diesen vier Tagen trafen die mittleren und die wahren Mittage fast genau gleichzeitig ein.

In der krummlinigen Bahn, welche die Sonne infolge ihrer eigenen Bewegung durchläuft, und die uns kreisförmig erschien, haben wir vier merkwürdige Punkte unterschieden: die Aequinoctien (Nachtgleichen) und die Solstitien (Sonnenwenden). Vom Frühlingsäquinoctium an nähern sich die täglichen Bewegungen der Sonne, welche anfänglich gegen eine nach Osten gerichtete Linie geneigt sind, bis zum Sommersolstitium hin mehr und mehr dieser Richtung; vom Sommersolstitium an bis zum Herbstäquinoctium finden sich dieselben Aenderungen der Neigung, aber in umgekehrter Ordnung. Vom Frühlingsäquinoctium bis zum Sommersolstitium liegen die täglich von der Sonne durchlaufenen Bogen in immer beträchtlicheren Abständen vom Aequator; man findet genau dieselbe Reihenfolge von Abständen, nur in entgegengesetzter Ordnung, wenn man denjenigen Theil der Sonnenbahn betrachtet, der zwischen dem Sommersolstitium und dem Herbstäquinoctium liegt. Man könnte also vermuthen, daß infolge der angeführten Ursachen die Augenblicke des Zusammenfallens

der wahren Sonne mit der mittleren Sonne, ſtatt unregelmäßig im Jahre vertheilt zu liegen, gegen die Aequinoctien und Solſtitien ſymmetriſch liegen müßten; man muß aber bedenken daß ſowohl der Punkt, in welchem ſich die Sonne am ſchnellſten bewegt, das Perigäum, als auch der Punkt, wo ſie am langſamſten fortrückt, das Apogäum, gegenwärtig weder in die Aequinoctien, noch in die Solſtitien fallen.

Man erkennt hieraus, daß die ungleiche eigene Bewegung der Sonne in ihrer Bahn, eine der drei Urſachen der Ungleichheit in den wahren Sonnentagen, die Symmetrie ſtört, welche man ohne dieſen Umſtand erwarten durfte.

Das breitgedruckte Wort gegenwärtig muß aufgefallen ſein. Der Punkt der Erdnähe ändert in der That ſeine Lage, und dies iſt eine der Urſachen, infolge derer die Rechnungen über die aufeinanderfolgenden Durchgänge der wahren und der mittleren Sonne nicht auf unbegrenzte Zeit Geltung behalten, und eine beſondere Rechnung alljährlich nothwendig wird.

Wir wollen jetzt eine Vergleichung der Zeiten anſtellen, in welchen die wahre Sonne und die mittlere Sonne ihre täglichen Umläufe vollenden, und zwar in denjenigen Epochen, wo dieſelben untereinander die größte Verſchiedenheit zeigen; daraus wird ſich ergeben, wieviel eine nach mittlerer Zeit gehende Uhr innerhalb vierundzwanzig Stunden gegen wahre Zeit vor oder nachgehen kann.

Am 17. November 1851 war z. B. die Umdrehung der wahren Sonne um $12^s\,2$ kürzer als die der mittleren; eine nach mittlerer Zeit regulirte Uhr ging alſo damals in vierundzwanzig Stunden um $12^s\,2$ gegen die wahre Sonne zu langſam.

Am 24. December 1851 war die Umdrehung der wahren Sonne um $30^s\,1$ länger als die der mittleren Sonne; damals mußte alſo eine nach mittlerer Zeit gehende Uhr innerhalb vierundzwanzig Stunden 30^s gegen die wahre Sonne vorausgehen.

Ein Beobachter nun der aſtronomiſche Tafeln beſitzt, aus denen man die gegenſeitigen Stellungen der Stundenkreiſe, ſowohl der wahren als der mittleren Aquatorialſonne berechnen kann, iſt im Stande ſeine Uhr nach mittlerer Zeit zu reguliren. Um aber dieſer ziemlich

langen Rechnung zu überheben, führen die Astronomen dieselbe aus, und machen die Ergebnisse mehrere Jahre im Voraus bekannt. In dem jährlich erscheinenden Kalender des Annuaire du Bureau des Longitudes gibt die Columne mit der Ueberschrift: Mittlere Zeit im wahren Mittag*) die Zeit an, welche eine nach der mittleren Aequatorialsonne oder nach mittlerer Zeit gehende Uhr zeigen muß, wenn die wirkliche Sonne durch den Meridian geht, eine Beobachtung die man entweder mittelst einer genauen Sonnenuhr oder nach einem Verfahren anstellt, das den Seefahrern wohlbekannt ist, oder endlich noch genauer mittelst des astronomischen Fernrohrs, das man auf allen Sternwarten das Mittagsfernrohr nennt (7. Buch, 4. Kap. S. 227).

Dreizehntes Kapitel.

Die Zeitgleichung.

Die Resultate der Rechnung, welche für den Mittag die gegenseitigen Stellungen der wirklichen Sonne und der erdichteten Aequatorialsonne angeben, nach welcher letzteren man die mittlere Zeit rechnet, werden mitunter auch unter der Ueberschrift Zeitgleichung gedruckt.

Beide Weisen kommen offenbar auf dasselbe hinaus. Um nämlich die Zeitgleichung für alle Tage im Jahre zu finden, braucht man nur für jeden Tag aus der Columne des Annuaire du Bureau des Longitudes diejenige Größe zu entnehmen, um welche die mittlere Zeit im wahren Mittag von zwölf Uhr verschieden ist. Gesetzt man wolle mittelst einer Tafel der Zeitgleichung ermitteln, ob eine Uhr gegen mittlere Zeit vor oder nach gehe, und es trete an diesem Tage (um etwas darüber festzusetzen) die mittlere Sonne nach der

*) Im Jahrbuche des Längenbureau wird die mittlere Zeit im wahren Mittag nur in runden Secunden angegeben; aber in der Connaissance des temps (und in den übrigen astronomischen Ephemeriden) treibt man die Genauigkeit bis zu den Hundertelsecunden.

wahren Sonne in den Meridian, so wird man die Uhrzeit des Meridiandurchgangs der wahren Sonne beobachten. Differirt die von der Uhr im Augenblicke des Meridiandurchgangs der Sonne angegebene Zeit von zwölf Uhr um eine der Zeitgleichung gleiche Größe, so zeigt die Uhr richtig; differirt die Uhrzeit von zwölf Uhr um eine beträchtlichere Größe als die Zeitgleichung, so geht die Uhr nach; sie geht dagegen vor, wenn der beobachtete Augenblick des Durchgangs um eine kleinere Größe als die Zeitgleichung von zwölf Uhr verschieden ist. Tritt der mittlere Mittag vor dem wahren ein, so gelten ganz ähnliche Schlüsse.

In der Astronomie hat das Wort Gleichung eine andere Bedeutung als in der Analysis. Während man nämlich in Letzterer unter Gleichung den Ausdruck der Gleichheit zweier Größen versteht, bedeutet dies Wort in der Astronomie diejenige Größe, um welche man den mittleren Ort vergrößern oder verkleinern muß, um den wahren Ort eines Gestirns zu erhalten. Mitunter, aber nur in seltneren Fällen, versteht man unter Gleichung auch diejenige Größe, welche man zum wahren Ort hinzufügen oder von ihm abziehen muß, um den mittleren Ort zu erhalten.

Wie im vorigen Kapitel schon bemerkt worden ist, erleidet die Tafel der Zeitgleichung für jeden der 365 oder 366 Tage des Jahres alljährlich Aenderungen. Es sind ziemlich verwickelte Formeln, deren sich die Astronomen bedienen, welche im Voraus die Tafeln berechnen, die man in der Connaissance des temps oder im Annuaire du Bureau des Longitudes findet; ich halte es in diesem Werke nicht für geeignet, in eine Erläuterung dieser Formeln einzugehen. Es mag vielmehr hier die Bemerkung genügen, daß die Epochen, wo die Zeitgleichung Null wird, von einem Jahre zum andern nur wenig von denjenigen Epochen verschieden sind, die ich für 1851 angeführt habe, und ebenso, daß die größten Werthe der Zeitgleichung nicht erheblich von den auf S. 249 angegebenen differiren. Schließlich will ich nur noch bemerken, daß das Wort Gleichung auch auf die Bewegung anderer Gestirne Anwendung findet, wie wir bei der Geschichte der Planeten ausführlicher sehen werden [5]).

Vierzehntes Kapitel.

Seit wann die pariſer Uhren nach mittlerer Zeit gehen.

Bis zur Zeit der zweiten Reſtauration gingen die Uhren in Paris nach wahrer Zeit, d. h. man regulirte ſie nach den Meridiandurchgängen der wahren Sonne, und mußte alſo täglich, oder wenigſtens wöchentlich ihren Gang ändern. Gegenwärtig regulirt man die Uhren nach dem Durchgang der erdichteten Aequatorialſonne durch den Meridian, und ſie zeigen folglich mittlere Zeit. Verglichen mit der Zeit welche die gewöhnlichen Sonnenuhren zeigen, gehen die Uhren alſo bald vor bald nach, wenn auf dieſen Sonnenuhren nicht eine krumme, der 8 nicht unähnliche Linie angebracht iſt[6]), welche die Mittagslinie der mittleren Zeit heißt, und auf welche die durch die kleine Oeffnung in der Platte des Zeigers gehenden Sonnenſtrahlen in den verſchiedenen Zeiten des Jahres auffallen müſſen[7]).

Die Einführung dieſer Aenderung hat zur Folge gehabt, daß die öffentlichen Uhren vollkommener hergeſtellt worden ſind, nicht mehr fortwährend berichtigt werden müſſen und beſſer untereinander übereinſtimmen. Seitdem wird der Fall nicht mehr vorkommen, daß ein Aſtronom dieſelbe Stunde von verſchiedenen Uhren eine halbe Stunde hindurch ſchlagen hört, was Delambre mir erzählt hat mehrmals bemerkt zu haben.

Als der Seinepräfect, Herr von Chabrol, dieſe Aenderung bei den Uhren der Hauptſtadt einführen wollte, wünſchte er zu ſeiner Sicherſtellung ein Gutachten von Seiten des Längenbureau, weil er befürchtete die Neuerung könnte einen Aufſtand unter der Arbeiterbevölkerung erregen, und die Arbeiter könnten ſich weigern einen Mittag gelten zu laſſen, der im Widerſpruch mit den Worten, nicht mit der Mitte des Tages zuſammenfiele, einen Mittag, welcher die Zeit zwiſchen Aufgang und Untergang der Sonne in zwei ungleiche Theile theilte. Dieſe ſchlimmen Befürchtungen verwirklichten ſich indeſſen nicht: die Neuerung ging unbemerkt vorüber.

Dagegen ſind die Uhrmacher ohne Ausnahme ſehr zufrieden damit, daß endlich dem Zeitmaaße eine Gleichförmigkeit gegeben iſt, die ſie

ſehnlichſt herbeigewünſcht hatten; denn ſie haben nun nicht mehr von unwiſſenden Käufern Klagen darüber zu hören, daß ihre Uhren von der Sonne abweichen. In früherer Zeit gaben die Uhrmacher zur Antwort: daran iſt die Sonne ſchuld, nicht aber die Uhr; eine Erklärung, mit der ſich die Wenigſten befriedigten, und in der Manche ſogar eine Läſterung fanden.

Was im Jahre 1816 nur aus bloßem Uebereinkommen hervorging, iſt ſpäterhin abſolut nothwendig geworden[8]); denn da die Zeitpunkte des Eintreffens und des Abgehens der Züge auf den Eiſenbahnen mit großer Genauigkeit beſtimmt ſein müſſen, iſt es unumgänglich geworden, daß die in den verſchiedenen Stationen vorhandenen Uhren untereinander vergleichbar ſeien, und dies läßt ſich mit Sicherheit nur erreichen wenn man die Uhren nach mittlerer Zeit gehen läßt. Ganz beſonders muß man es vermeiden, daß an einem Orte die mittlere und an einem andern die wahre Zeit in Anwendung komme, denn daraus könnten, wie man oben geſehen hat, Unterſchiede von $16^m\ 17^s\ 2$ entſtehen.

So große Verſchiedenheiten würden aber, in Verbindung mit dem terreſtriſchen Längenunterſchiede, beſonders auf Bahnen, die, wie die Bahn von Paris nach Straßburg, von Oſt nach Weſt gerichtet ſind, die bedauerlichſten Unfälle herbeiführen können.

Anmerkungen der deutſchen Ausgabe.

Zum ſiebenten Buch.

1. S. 222. Der hier dargeſtellte Kreis iſt der Gambey'ſche der pariſer Sternwarte. In England ſind die ſehr zahlreichen, großen aſtronomiſchen Mauerkreiſe (den erſten verfertigte Troughton 1812) meiſt nach demſelben Principe ausgeführt, während in Deutſchland Reichenbach in München, das wiener polytechniſche Inſtitut, Repſold, Piſtor und Martins der Verbindung des Mittagsfernrohrs und des Vollkreiſes zum Höhenmeſſen im Meridian, dem ſogenannten Meridiankreiſe, den Vorzug gegeben haben. Letztere Inſtrumente ſind zwiſchen zwei Pfeilern befeſtigt, und können mit Leichtigkeit umgelegt werden. Zur Vergleichung der Einrichtungen an den Mauerkreiſen und an den Meridiankreiſen kann man die vorliegende Abbildung etwa an die Darſtellung des Piſtor'ſchen Kreiſes halten, die dem erſten Bande der Aſtron. Beobachtungen auf der Königl. Sternwarte

zu Berlin (1840) beigefügt ist, oder an die Abbildung des großen Cambridger Meridiankreises in Amerika, Description of the Observatory at Cambridge, 1848. Der größte Meridiankreis (von Pistor und Martins) befindet sich gegenwärtig auf der neuen Sternwarte der amerikanischen Universität Ann-Arbor bei Detroit; den vollkommensten Mauerkreis dagegen besitzt die Greenwicher Sternwarte.

2. S. 227. Auch in dieser Gattung von Instrumenten scheinen die der französischen Künstler wenig Verbreitung gefunden zu haben. Von einem kleineren, tragbaren, von Ertel in München construirten Passage-Instrumente findet man Abbildung nebst Beschreibung im ersten Bande von Sawitsch, Abriß der praktischen Astronomie, Hamburg 1850; größere, feststehende Passage-Instrumente sind vielfach abgebildet worden: ein Repsold'sches, auf der Pulkowaer Sternwarte befindliches, im 20. Bande von Schumacher's Astronomischen Nachrichten. — Das erste Passage-Instrument hat der dänische Astronom, Olaus Römer im Jahre 1689 aufgestellt, und dasselbe im 3. Bde. der Miscellanea Berol. 1700 beschrieben.

3. S. 237. Den richtigen Betrag der Größe, um welche das Perigäum der Erde alljährlich unter den Sternen fortrückt, hat zuerst Jakob Cassini gegeben, aus Vergleichungen seiner eigenen Bestimmung der Lage des Perihels mit denen, die Hipparch und Ptolemäus, sowie der nürnberger Astronom Walther im Anfange des 16. Jahrhunderts gefunden hatten; vergl. Elémens d'Astronomie par M. Cassini, Paris 1740, S. 193 u. f. Lemonnier, Tobias Mayer und Lacaille bestätigten wenig später das Cassini'sche Resultat.

4. S. 248. Von der Sitte bei Griechen und Römern, die Zeit durch eigene Sklaven, gewöhnlich Knaben (z. B. Martial Lib. VIII. epigr. 67; Juvenal Satyr. X.), von den öffentlichen Plätzen holen zu lassen, ist schon oben S. 40 die Rede gewesen. Zahlreiche Stellen im Apulejus, Propertius, Seneca, bezeugen überdies, daß zu Rom eigene Diener in den Tempeln durch Trompetenstöße die einzelnen Stunden verkündeten. Seneca nennt dies horas Jovi nuntiare. Daß man auch bei den Griechen einen eigenen Stundenherold (ὡρολογητης) hatte, beweist eine bekannte Stelle beim Athenäus Lib. IX. cap. 17. — Umfassende und sehr interessante Untersuchungen über diese Gewohnheit antiken Lebens siehe in Poppe, Geschichte der theor.-prakt. Uhrmacherkunst, 1801, S. 115 u. f.

5. S. 252. Die schon dem Hipparch und Ptolemäus ihrem Wesen nach bekannte Zeitgleichung wird erst seit Ende des 17. Jahrhunderts in der gegenwärtig gebräuchlichen Weise angewandt. Von den beiden Theilen, aus denen sie besteht, berücksichtigte Tycho nur den von der Schiefe der Ekliptik herrührenden, beträchtlicheren, der auf zehn Zeitminuten steigen kann; den andern Theil, der für sich allein höchstens 7 bis 8 Minuten beträgt, zog zuerst Keppler in Rechnung, in den Rudolphinischen Tafeln (1627). Die heutzutage übliche Form der Berechnung der Zeitgleichung hat Flamsteed eingeführt, der mit einer Dissertation de Inaequalitate dierum solarium seine astronomische Laufbahn eröffnete. S. seine Abhandlung in Horoccii Astronomia Kepleriana defensa cet. London 1672. Bis

dahin waren die ausgezeichnetſten Aſtronomen über dieſe wichtige Frage uneins geweſen. Bailly, Histoire de l'Astr. mod. II, S. 427; Berthoud, Histoire de la Mesure du Temps par les Horloges; 1802, I. S. 173 u. f.

6. S. 253. Der Erwähnung ſind wohl auch die ſehr künſtlichen Uhren werth, welche durch zwei verſchiedene Minutenzeiger die wahre und die mittlere Zeit zugleich angeben, dergeſtalt daß die jedesmalige Zeitgleichung dem Unterſchiede in den Angaben beider Zeiger gleich iſt. Dergleichen Kunſtwerke (Aequationsuhren) fertigte man zu London ſchon ums Jahr 1699. Man ſiehe Henry Sully's Règle artificielle du Temps (1717); Berthoud, Hist. de la Mesure etc. I. S. 184 u. f. Le Bon, Julien le Roy, Enderlin u. A. haben ſich mit der Löſung der Aufgabe beſchäftigt.

7. S. 253. Solche Vorrichtungen an Sonnenuhren ſieht man z. B. am Palais du Luxembourg zu Paris und am Gebäude der alten berliner Sternwarte. Littrow, Wunder des Himmels. 4. Aufl. S. 188; — dieſe unſymmetriſche Linie iſt abgebildet in Bode's Jahrbuche für 1814, Fig. 3.

8. S. 254. Bereits zwanzig Jahre früher hatten Lalande und Ferd. Berthoud im pariſer Nationalinſtitute vergeblich beantragt, daß das Directorium die Einführung der mittleren Zeit bei den öffentlichen Uhren decretiren möge. Zu Anfange unſers Jahrhunderts war dieſe Maßregel in England allgemein eingeführt; auch zu Genf gingen die Uhren ſchon damals nach mittlerer Zeit. Connaissance des temps pour l'an VII, S. 187; Berthoud, Histoire I, S. 178. In Berlin geſchah die öffentliche Einführung der mittleren Zeit im Jahre 1810.

Achtes Buch.

Von den Sternbildern.

Erſtes Kapitel.

Aufſtellung eines Sternverzeichniſſes.

Ich nehme jetzt an man ſei im Beſitze eines Meridiankreiſes, auf dem man die Lage derjenigen Punkte kennt, welche der Polarare und dem Aequator entſprechen, und will nun angeben, auf welche Weiſe man ſich dieſes Inſtruments zur Aufſtellung eines Sternverzeichniſſes bedient. Die folgende Auseinanderſetzung ſoll nicht dazu dienen, nur im Allgemeinen das Verfahren deutlich zu machen, ſondern enthält wirklich diejenige Methode, welche heutzutage auf allen Sternwarten in Anwendung kommt.

Denkt man ſich durch die einzelnen Sterne Ebenen gelegt, die auf der Weltare ſenkrecht ſtehen, ſo wird die Himmelskugel dadurch, wie wir ſchon geſehen haben (6. Buch, 3. Kap., S. 198), in Zonen von größerer oder geringerer Breite getheilt, deren jede auf beiden Seiten durch Kreisumfänge, welche man Parallelkreiſe nennt, begrenzt wird. Dieſelben wachſen vom Nordpole P an (Fig. 97) bis zum Aequator EE′, und nehmen auf der andern Seite vom Aequator bis zum Südpole P′ hin wieder ab.

Angenommen man lege nun durch die einzelnen Sterne und die Polarare eine Reihenfolge von Ebenen PEP′, PAP′, PBP′ u. ſ. w. (Fig. 98), ſo entſteht dadurch eine Folge von größten Kreiſen, deren Endpunkte ſämmtlich in den Polen liegen. Jeder dieſer größten Kreiſe

ist vom Augenblicke des Aufgangs desjenigen Sternes, den er enthält, bis zum Augenblicke des Meridiandurchgangs dieses Sternes gegen

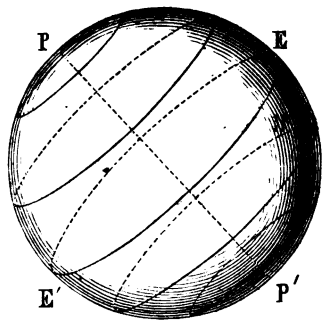


Fig. 97. — Parallelkreise am Himmel.

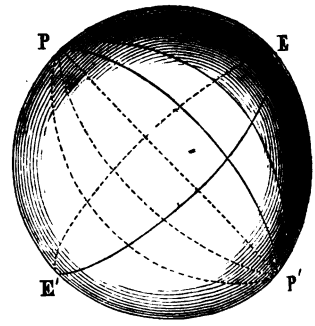


Fig. 98. — Stundenkreise.

Osten geneigt; von diesem Augenblicke des Meridiandurchgangs bis zum Untergange hin findet die Neigung gegen Westen statt. Es leuchtet ein, daß diese verschiedenen Ebenen, sowie die Kreise, welche sie begrenzen, mit der Meridianebene vollständig zusammenfallen, wenn sich der Stern, durch welchen sie gehen, im Meridian befindet. Zwei Ebenen fallen nämlich vollständig zusammen, wenn sie drei Punkte gemeinschaftlich haben; diese drei Punkte sind in diesem Falle der augenblicklich im Meridian befindliche Stern und die beiden Pole. Diese verschiedenen Kreise, welche zu verschiedenen Stunden mit dem Meridian zusammenfallen werden, hat man aus diesem Grunde Stundenkreise genannt, wie wir zu bemerken schon Veranlassung gehabt haben (7. Buch, 1. Kap., S. 215).

Der Ort eines Sterns ist vollständig bestimmt, sobald man den Parallelkreis und den Stundenkreis kennt, auf denen er liegt. Wir wollen jetzt sehen, welche Gattung von Meridianbeobachtungen uns die Kenntniß der beiden Elemente verschafft, durch welche auf diese Weise die Lage eines Sternes im Raume bestimmt wird. Alle Punkte im Parallele eines Sternes liegen in gleichem Abstande vom Pole; kennen wir diesen Abstand also für einen einzigen dieser Punkte, so haben wir ihn zugleich für alle andern. Im Augenblicke wo ein Stern infolge der täglichen Bewegung in den Meridian tritt, richtet man das Fern-

rohr des Meridiankreiſes auf dieſen Stern, und merkt ſich den Strich der Theilung, auf welchen es geſtellt war. Schon vorher hatte man den Punkt ermittelt (wie oben im 6. Buch, 6. Kap. S. 205 gezeigt wurde), dem das Fernrohr entſprach wenn es auf den Pol gerichtet war; mithin gibt eine einfache Vergleichung beider Ableſungen auf der Theilung die Polardiſtanz aller im Parallel des Sternes befindlichen Punkte. Indem man dieſe Diſtanz von 90° abzieht, erhält man offenbar den Bogen im Meridian, der zwiſchen dem Sterne und dem Aequator liegt. Dieſer letztere Abſtand heißt, wie ſchon bemerkt worden iſt (7. Buch, 4. Kap. S. 222), die Declination oder Abweichung des Geſtirns. Beabſichtigt man dieſen Stern auf der Oberfläche eines Himmelsglobus zu zeichnen, ſo wüßte man durch dieſe Beobachtung, auf welchen Parallel man ihn zu ſetzen hat.

Da nun die Stundenkreiſe einer nach dem andern in den Meridian treten, ſo iſt man nicht im Stande ſie von einander zu unterſcheiden; wir müſſen alſo eine Wahl treffen und willkürlich denjenigen feſtſetzen, auf welchen wir alle übrigen beziehen wollen, d. h. denjenigen der durch den Nullpunkt des Aequators gehen ſoll. Angenommen der Stundenkreis gehe durch den glänzendſten Stern am Himmel, den Stern welcher Sirius heißt, ſo wird der Durchſchnitt dieſes größten Kreiſes und des Parallels vom Sirius (die Lage dieſes Parallels haben wir ſchon vorher finden können), den wirklichen Ort dieſes Sternes ergeben. Damit iſt Alles vollkommen beſtimmt. Die Umdrehung des Himmels geht gleichförmig vor ſich; wie weit zwei Stundenkreiſe von einander entfernt liegen mögen, ſtets werden ſie nach einem Zeitintervall in den Meridian treten, das zu der Zeit einer ganzen Umdrehung des Himmels in demſelben Verhältniſſe ſteht, wie der Winkel den beide Kreiſe einſchließen, ſich zum ganzen Kreisumfange oder zu 360° verhält.

Man nehme nun an der Beobachter ſei mit einer tragbaren Uhr oder mit einer Pendeluhr verſehen, die z. B. zwiſchen zwei aufeinander folgenden Durchgängen des Sirius-Stundenkreiſes durch den Meridian genau vierundzwanzig Stunden angibt: alſo Null Uhr und 24 Uhr entſprechen zwei Durchgängen des Nullpunktes im Aequator durch den Meridian, oder den 360 Graden dieſes Aequators. Eine ſolche

tragbare Uhr oder Pendeluhr nennt man eine Sternuhr, und die Zeit, welche sie angibt, heißt die Sternzeit (7. Buch 1. Kap., S. 217; 4. Kap. S. 220).

Beobachten wir jetzt einen Stern, der eine Stunde nach Sirius in den Meridian tritt; dieser Stern wird auf einem Stundenkreise liegen, der mit dem Stundenkreise jenes Sterns einen Winkel von $^{360}/_{24} = 15^0$ bildet. Der Stern der zwei Stunden nach Sirius in den Meridian kommt, wird einem Stundenkreise angehören, der mit dem als Ausgangspunkt von uns angenommenen einen Winkel von $^{360}/_{12} = 30^0$ einschließt. Man sieht also daß in der Voraussetzung, von der wir ausgingen, eine Stunde 15 Graden entspricht; setzt man die numerische Rechnung fort, so findet man, daß eine Zeitminute 15 Bogenminuten, und eine Zeitsecunde 15 Bogensecunden entspricht. Welches also auch das Zeitintervall in Stunden, Minuten und Secunden ist, das zwischen dem Durchgange des Sirius und eines andern Sternes verflossen ist: wir werden immer angeben können, wieviel in Graden der Winkel beträgt, welchen die Stundenkreise beider Sterne einschließen, oder auf welchen Theilpunkt des Aequatorkreises der Stundenkreis des zweiten Sternes trifft, in dem Augenblicke wo der Stundenkreis des Sirius durch den Nullpunkt geht.

Wenn die bei diesen Beobachtungen gebrauchte Uhr, statt zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen des Sirius vierundzwanzig Stunden anzugeben, etwas Anderes, z. B. 25 Stunden zeigte, so müßte man zur Verwandlung der Stunden in Grade folgende Rechnung aufstellen: wenn 25 Stunden 360 Graden entsprechen, aus der Anzahl von Stunden, die zwischen den Durchgängen des Sirius und des damit verglichenen Sternes, der Beobachtung zufolge, verflossen sind, die entsprechende Anzahl der Grade zu finden.

Man sieht (um diese Bemerkung hier zu wiederholen), daß die tägliche Bewegung bei dieser Combination der Beobachtungen, weit entfernt hinderlich zu sein, vielmehr ein Mittel zur Messung geworden ist, und daß die Stunden, Minuten und Secunden in Zeit in Grade, Bogenminuten und Secunden verwandelt werden. Der Bogen des Aequators zwischen dem Nullpunkte, d. h. dem Fußpunkte des Sirius-Stundenkreises und dem Theilpunkte, wo der Stundenkreis

eines andern Sternes den Aequator trifft, ist das was man die Geraden aufsteigung oder Rectascension dieses Sternes nennt (7. Buch, 4. Kap. S. 228); dieselbe wird entweder in Graden, Bogenminuten und Bogensecunden, oder in Stunden, Zeitminuten und Zeitsecunden ausgedrückt, immer in der Voraussetzung, daß 24 Stunden 360 Graden gleich sind.

Alle Sterne die auf demselben Stundenkreise liegen, gleichviel welches ihre Entfernung vom Pole ist, d. h. alle Sterne die gleichzeitig in den Meridian treten, haben dieselbe Rectascension; was nichts anders sagen will, als daß die Anzahl von Graden zwischen dem Nullpunkte des Aequators und dem Fußpunkte eines Stundenkreises dieselbe bleiben würde, gleichviel auf der Theilung welches Parallelkreises der Zwischenraum beider Durchschnitte gemessen wird. Damit man das Vorhergehende richtig auffasse, wollen wir annehmen, der Stundenkreis des Sirius gehe fortwährend durch den Nullpunkt des Aequators, und der Stundenkreis eines andern Sterns entspreche dem Theilstriche 15° auf dem Aequator: wenn nun die Durchschnittspunkte aller Parallele mit dem Stundenkreise des Sirius mit Null bezeichnet werden, so müssen die Durchschnittspunkte derselben Parallele mit dem Stundenkreise des zweiten Sternes offenbar in den 15. Grad der Theilung eines jeden von ihnen fallen. Mit andern Worten: es leuchtet ein daß die Grade aller Parallelkreise, wie klein sie immerhin sein mögen, genau dieselbe Zeit brauchen, um den Meridian zu passiren.

Die Genauigkeit mit der man gegenwärtig im Stande ist die Rectascensionen zu bestimmen, rührt großentheils von dem Entschlusse her, den man auf allen neueren Sternwarten gefaßt hat, die Meridiandurchgänge mit einem eigenen Instrumente, mit dem Meridianfernrohre zu beobachten. Dieses Fernrohr kann man nämlich infolge seiner Construction eine fast mathematisch genaue Ebene beschreiben lassen (vergl. 7. Buch, 4. Kap. S. 227), eine Bedingung welche nur schwer zu erreichen wäre, wenn das Fernrohr stets an einem Limbus befestigt bliebe, wie gut immer letzterer hergestellt sei. Der Name des Gelehrten, dem man diese Neuerung verdankt, muß hier, wie mir scheint, erwähnt werden: es ist Olaus Römer[1]). Die Declinationen waren von

je her mit Quadranten beobachtet worden, welche man von bedeutender Größe conſtruirte; eben dieſe ungemeine Größe hat die Herſtellung ganzer Kreiſe verhindert; aber ſeitdem die Fortſchritte in der Mechanik es möglich gemacht haben, auch auf Inſtrumenten von mittlerer Größe die kleinſten Unterabtheilungen des Grades zu erkennen, ſind die ganzen Kreiſe an die Stelle der alten Quadranten getreten. Mit derartigen Inſtrumenten, die an Mauern genau in der Richtung von Süd nach Nord befeſtigt ſind, und die man Mauerkreiſe nennt (7. Buch, 4. Kap., S. 221), iſt der Aſtronom im Stande gleichzeitig die ſüdlichen und die nördlichen Sterne zu beobachten, indem er alle Richtungen auf den Pol oder durch eine äußerſt einfache Rechnung auf den Aequator bezieht.

Zweites Kapitel.

Coordinaten der Sterne.

In den Verzeichniſſen die man Sternkataloge nennt, werden die Oerter aller Geſtirne durch ihre ſogenannten Coordinaten beſtimmt, nämlich durch die Declinationen und die Rectaſcenſionen, oder durch die Breiten und die Längen. Eine erſte verticale Columne enthält den Namen jedes Sternes, eine zweite die Stunde des Meridiandurchganges dieſer Sterne, unter der Annahme, daß das Frühlingsäquinoctium um $0^h\ 0^m\ 0^s$ durchgeht, und daß 24 Stunden zwiſchen zwei aufeinander folgenden Durchgängen dieſes Aequinoctiums durch den Meridian verfließen; eine dritte Columne enthält den Betrag der Rectaſcenſionen der einzelnen Sterne in Graden, Minuten und Secunden: dies iſt im Grunde nur eine einfache Transformation der Zahlen in der zweiten Columne. Eine vierte Columne gibt entweder die Polardiſtanz jedes Sternes oder ſeine Declination, d. h. die Entfernung jedes Sternes vom Aequator. Enthält der Katalog Declinationen ſtatt der Polardiſtanzen, ſo muß man noch bemerken, ob die Declinationen ſüdliche oder nördliche ſind; häufig bezeichnet man die nördlichen Declinationen durch das Zeichen + und die ſüdlichen durch das Zeichen —.

Sehr häufig geben die Aſtronomen, ſtatt die Rectaſcenſionen und Declinationen der Sterne in den Katalogen anzuführen, die Längen und Breiten derſelben; dieſe beiden Coordinaten der Sterne haben wir ſchon erklärt (7. Buch, 9. Kap. S. 239); hier wollen wir noch eine Zeichnung einſchalten, welche die Beziehungen zwiſchen dieſen beiden Syſtemen nachweiſt.

In Fig. 99 mag e einen Stern auf der Himmelskugel bedeuten, PCP′ die Weltaxe, und EE′ den auf CP ſenkrecht ſtehenden Aequator. Legen wir nun durch die Weltaxe den Stundenkreis Pem, und iſt O der Punkt des Frühlingsäquinoctiums, ſo iſt, den aufgeſtellten Definitionen gemäß, Om die Rectaſcenſion und em die Declination des Sternes. Denken wir uns jetzt noch den Kreis der Ekliptik AOA′, auf welchem die ſcheinbare Bewegung der Sonne vor ſich geht (7. Buch, 4. Kap. S. 223), und ziehen die darauf ſenkrecht ſtehende Axe QEQ′; legen wir endlich durch den Stern den Bogen des größten Kreiſes Qen, ſo iſt On die Länge am Himmel, und en die Breite des Sternes e. Der auf der Ekliptik ſenkrecht ſtehende größte Kreis Qen heißt der Breitenkreis, und die Punkte Q und Q′ ſind die Pole der Ekliptik.

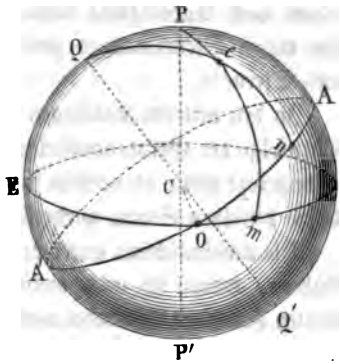


Fig. 99. — Rectaſcenſion, Declination, Länge und Breite der Sterne.

Drittes Kapitel.

Die wichtigſten Sternverzeichniſſe und Himmelsatlaſſe.

Die Sternverzeichniſſe enthalten Alles, was zu einer genauen Abbildung des Sternhimmels auf einem Globus nöthig iſt, dergeſtalt daß die Sterne nicht nur nach ihrer gegenſeitigen Lage beſtimmt, ſondern

auch an die richtigen Oerter in Bezug auf die Pole und den Aequator gesetzt werden können. Auf dieser Darstellung könnten die Bestimmungen eine sehr große Genauigkeit besitzen, fast wie die Beobachtungen selbst, vorausgesetzt daß der angewandte Globus von solchen Dimensionen ist, wie die, deren sich Tycho bediente, nämlich von zehn Fuß im Durchmesser.

Der älteste Katalog den wir besitzen, und in welchem die Sterne nach Länge und Breite geordnet sind, ist derjenige, welchen uns Ptolemäus nach Anbringung kleiner Aenderungen überliefert hat. Die Ehre dieses Sternkatalogs gebührt dem Hipparch; derselbe enthält 1026 Sterne[2]).

In den neueren Katalogen werden die Sterne allgemein nach der Reihenfolge der Geradenaufsteigungen geordnet, denen die Abweichungen beigesetzt sind; es versteht sich, daß man in den verschiedenen Katalogen dieselben Sterne wiederfindet.

Die ansehnlichsten unter den bekannten Sternverzeichnissen will ich anführen, indem ich mich meistens auf die Autorität meines hochberühmten Freundes Alexander von Humboldt stütze (Kosmos, 3. Theil, S. 149 u. f.).

Unter den Katalogen der arabischen Astronomen ist einer der berühmtesten der des Ulugh Beig, Tamerlan's Enkel; dieser war ursprünglich persisch abgefaßt: er enthält 1019 auf das Jahr 1437 reducirte Sternpositionen, und ist angefertigt nach den Beobachtungen auf dem Gymnasium zu Samarkand (unter der Breite von etwa 39° 52′), abgerechnet einige südliche Sterne, die nach Ptolemäus berechnet sind[3]). Ein späterer Commentar liefert 300 Sterne mehr[4]), deren Positionen Abu-Bekri Altizini im Jahre 1533 beobachtete. Die beste Ausgabe dieses Sternkatalogs hat der gelehrte Hyde gegeben[5]).

Tycho's Katalog von Keppler bearbeitet und herausgegeben, enthält nur 1000 Sterne[6]).

Der Katalog des Landgrafen von Hessen (Wilhelm IV.) ist unter Mitwirkung Rothmann's und Byrgius' zu Stande gekommen; er enthält 400 Sterne[7]).

Hevel's Katalog enthält 1564 Sternpositionen für das Jahr 1660[8]).

Dies sind die letzten Kataloge, die auf Beobachtungen mit bloßem Auge beruhen.

Der erste Katalog, der seit der Zeit erschien, wo Morin und Gascoigne die Verbindung des Fernrohrs mit den alten Meßinstrumenten lehrten, ist das Verzeichniß der südlichen Sterne, deren Positionen Halley[9]) während seines kurzen Aufenthalts zu Sanct-Helena in den Jahren 1677 und 1678 bestimmt hatte.

Später erschienen die folgenden Sternverzeichnisse:

Lacaille, 9776 südliche Sterne, beobachtet in weniger als zehn Monaten, von 1751 bis 1752, mit einem nur acht Mal vergrößernden Fernrohre; Henderson hat sie auf 1750 reducirt[10]).

Tobias Mayer, 998 Sterne für das Jahr 1756[11]).

Flamsteed, erster Director der greenwicher Sternwarte, 2866 Sterne, von denen ein großer Theil nur im Fernrohre sichtbar ist; durch Baily's Berechnung sind noch 564 Sterne hinzugekommen[12]). Dieser Katalog gehört zu dem Werke, dessen Titel: Historia coelestis britannica, (3 Bände in Fol.).

Bradley, 3222 Sterne, von Bessel auf 1755 reducirt[13]).

Pond, 1112 Sterne[14]).

Von Zach, 381 Sterne: dies Verzeichniß, eine werthvolle Arbeit eines unserer größten Astronomen, ist im Jahre 1792 zu Gotha erschienen[15]).

Piazzi[16]), 7646 auf das Jahr 1800 reducirte Sterne.

Thomas Brisbane und Rümker[17]), 7385 südliche Sterne, nach Beobachtungen auf Neuholland im Laufe der Jahre 1822 bis 1828.

Airy, 2156 auf das Jahr 1845 reducirte Sterne[18]).

Rümker[19]), 12000 Sterne nach hamburger Beobachtungen.

Argelander[20]), 560 Sterne nach Beobachtungen zu Abo.

Taylor, 11015 Sterne zu Madras[21]) beobachtet.

Baily (British Association Catalogue of Stars, London 1845), 8377 Sterne[22]).

Jérôme Lalande (Histoire céleste française, Paris 1801), 47390 Sterne, darunter viele von neunter Größe, und einige noch schwächere. Dieser Katalog ist auf Beobachtungen gegründet, die Le Français de Lalande und Burckhardt von 1789 bis 1800 angestellt haben; er ist

auf Veranlassung der British Association for the advancement of Science, unter Francis Baily's Leitung sorgfältig berechnet und auf 1800 reducirt worden[23]).

Für den Südhimmel sind die reichen Verzeichnisse anzuführen von Henderson, und von Maclear am Kap der guten Hoffnung, und von Johnson auf Sanct-Helena.

Ich werde die für das Studium des gestirnten Himmels so nützlichen Atlasse gleichfalls anführen. Zuerst sind die Karten von Bayer zu nennen[24]), als die ersten mit Einsicht und Sorgfalt angefertigten (1603).

Bode's Atlas (Berlin 1801) enthält 17240 Sterne.

Des Atlasses von Flamsteed[25]), aus 28 Karten bestehend (1729), haben sich alle Astronomen im vorigen Jahrhundert bedient.

Der Atlas von Harding, 27 Karten umfassend, enthält mehr als 50000 Sternpositionen, der umfangreichen Sammlung der französischen Astronomen entlehnt[26]).

Bessel's Zonen enthalten 75000 Beobachtungen, vom Parallel des Himmels — 15° bis + 45°; diese Arbeit hat acht Jahre in Anspruch genommen, von 1825 bis 1833. In den Jahren 1841 bis 1843 hat Argelander diese Zonen bis zum 80sten Parallel fortgeführt, und die Oerter von 22000 Sternen bestimmt[27]).

Den Director der krakauer Sternwarte, Max Weiße, hat die petersburger Akademie mit der Reduction der Bessel'schen Zonen beauftragt; er hat für das Jahr 1825 die Positionen von 31895 Sternen berechnet, von denen 19738 neunter Größe sind[28]).

Die Sammlung der Sternkarten der berliner Akademie enthält 24 Blätter[29]); sie beruhen hauptsächlich auf Bessel's Beobachtungen, und enthalten alle Sterne der neun ersten Helligkeitsgrößen (was später erläutert werden soll), und sogar einen Theil der Sterne zehnter Größe.

Viertes Kapitel.

Bemerkungen über den Nutzen der Sternbilder und über die Verbesserungen, die man hier vorgeschlagen hat.

Um beim Studium der Gestirne, mit denen das Firmament besäet ist, das Gedächtniß zu unterstützen, hat man die sämmtlichen Sterne schon in sehr früher Zeit in unterschiedene Gruppen getheilt, welche man Sternbilder oder Asterismen nennt. Die Gestalten dieser Gruppen sind von lebenden Wesen oder von leblosen Gegenständen hergenommen, die man über den ganzen Raum der Himmelskugel gezeichnet hat. An der einen Stelle hat man einen Widder dargestellt, einen Stier an der andern, weiterhin jugendliche Zwillinge, anderswo einen Krebs, einen Scorpion, einen Drachen, einen Bären u. s. w. Alle die Sterne, die zu einer dieser Gestalten zusammengefaßt sind, hat man nun in derselben Reihenfolge genannt: die Sternbilder des Widders, des Stiers, der Zwillinge, des Krebses, des Scorpions, des Drachen, des Bären u. s. w. Die hier beigefügten Karten (Fig. 100 und 101 zu S. 272) stellen die von den Astronomen angenommenen Sternbilder in der gebräuchlichsten Form dar, jene für die nördliche, diese für die südliche Halbkugel.

Es verdient bemerkt zu werden, daß die Anordnung der Sterne im Allgemeinen in keiner Beziehung zu dem Umrisse der Figur steht, die sie enthält; ich sage im Allgemeinen, denn es gibt einzelne Beispiele, wo es den Anschein hat, als sei man in der Wahl der gezeichneten Figur oder des Sternbildes durch die darin befindlichen Sterne geleitet worden. Zu den Sternbildern die in der angedeuteten Weise einige Beziehung zu den Figuren haben, durch welche man sie darstellt, rechne ich den Scorpion, der die Gestalt eines Käfers hat, ferner die Krone, die Schlange, den Drachen, sogar den Stier, in welchem die dreieckige Anordnung der Hauptsterne, aus denen er besteht, eine gewisse Aehnlichkeit mit dem knochigen Theile eines Ochsenkopfs *) hat.

*) Goguet berichtet, daß zur Zeit der Entdeckung von Amerika die Uferbewohner des Amazonenstromes die Hyaden, jene Hauptgruppe vom Sternbilde des Stiers, Tapiira Rayuba nannten, was in ihrer Sprache Kinnlade des Tapiira bedeutet, woraus seitdem Ochsenkinnlade geworden *).

Man darf ferner nicht unbeachtet laſſen, daß die Griechen den langen, leuchtenden Streifen, der den ganzen Himmel rund umzieht, Galaxia nannten, wegen ſeiner Milchweiße [31]); die heutigen Aſtronomen nennen ihn die Milchſtraße *).

Durch dieſe Eintheilung der Sterne in Sternbilder war es unnöthig geworden, jedem einzelnen Sterne einen Namen zu geben; ſo ſagte man: das Auge des Stiers, das Herz der Waſſerſchlange, das Herz des Löwen, die Kornähre der Jungfrau u. ſ. w., infolge der Stelle, welche der Stern im Bilde einnahm. Indeſſen hat man doch mehreren der merkwürdigſten Sterne eigene Namen beigelegt; ich laſſe hier die durch den Gebrauch zur allgemeinen Geltung gekommenen folgen; theilweiſe ſind ſie von den Griechen, theilweiſe von den Arabern, unſern erſten Lehrern in der Aſtronomie entlehnt:

Sirius heißt der Hauptſtern im Großen Hunde [32]) (dies iſt zugleich der glänzendſte Stern am ganzen Himmelsgewölbe).

Antares [33]) iſt der Name des Scorpionherzens.

Aldebaran bezeichnet das Auge des Stiers.

Regulus das Herz des Löwen.

Denebola iſt der zweite Stern im Bilde des Löwen.

Rigel der Fuß des Orion.

Betelgeuze iſt der Stern an der rechten Schulter des Orion, zugleich der glänzendſte Stern in dieſem Bilde.

Bellatrix der Stern an der rechten Schulter des Orion.

Procyon der hellſte Stern im Kleinen Hunde.

Caſtor der glänzendſte Stern am weſtlichen Kopfe der Zwillinge.

Pollux der glänzendſte Stern am öſtlichen Kopfe der Zwillinge.

Fomalhaut am Maule des ſüdlichen Fiſches.

Der jüngere Herſchel behauptet, daß das Geſtirn des Orion, in mittleren ſüdlichen Breiten betrachtet, ziemlich gut eine menſchliche Geſtalt vorſtellt, aber die umgekehrte von der, unter welcher unſere Karten dieſes Sternbild darſtellen; die gegenwärtig die Schultern des Orion bildenden Sterne erſcheinen, ſagt der engliſche Aſtronom, als die Kniee der Geſtalt, und der Rigel genannte Stern bildet ihren Kopf.

*) Himmelsfluß nennen ihn die Chineſen. Die nordamerikaniſchen Wilden gaben ihm den Namen Weg der Seelen; in Frankreich nennen ihn die Bauern den Weg des heiligen Jakob von Compoſtella.

Markab der glänzende Stern im Flügel des Pegasus.

Algenib der glänzende Stern am Ende des Pegasusflügels.

Algol heißt der hellste Stern im Meduſenhaupte, das Perſeus in der Hand hält.

Scheat iſt der glänzende Stern in der rechten Schulter des Perſeus.

Wega der glänzendſte in der Leyer.

Gemma der glänzendſte in der nördlichen Krone.

Deneb der glänzendſte im Schwan.

Capella der glänzendſte im Fuhrmann.

Arctur der glänzendſte im Bärenhüter.

Vindemiatrix der Stern in der Nähe der rechten Hand der Jungfrau.

Acharnar der glänzendſte Stern im Bilde des Eridanus; er iſt in Europa unſichtbar.

Altair der glänzendſte Stern im Adler.

Canopus der ſo glänzende Stern am Steuerruder des Schiffs.

Polarſtern*) nennt man den hellſten Stern des Kleinen Bären, weil er dem Nordpole, dem arktiſchen**) Pole allezeit nahe ſteht. Dieſen Stern nennt man bisweilen auch Tramontana [34]).

Als Bayer im Jahre 1603 ſeine ſchönen Himmelskarten herausgab, bezeichnete er die Sterne in jedem Bilde durch die Buchſtaben des griechiſchen und lateiniſchen Alphabets***). Lange Zeit hat man an-

*) Vom griechiſchen Verbum *πολέω*, ich drehe.

**) Vom griechiſchen Worte *ἄρκτος*, Bär.

***) Diejenigen, welche mit dem Griechiſchen nicht vertraut ſind, finden in dieſer Anmerkung das griechiſche Alphabet mit der deutſchen Ausſprache der einzelnen Buchſtaben:

α	Alpha	*ι*	Jota
β	Beta	*κ*	Kappa
γ	Gamma	*λ*	Lambda
δ	Delta	*μ*	My
ε	Epſilon	*ν*	Ny
ζ	Zeta	*ξ*	Xi
η	Eta	*ο*	Omikron
ϑ	Theta	*π*	Pi

genommen, der berühmte augsburger Jurist und Astronom habe dem hellsten Sterne jedes Bildes den Buchstaben α gegeben, β dem zweiten, γ dem dritten u. s. f., und sei nur nach Erschöpfung der Buchstaben des griechischen Alphabets zu den lateinischen übergegangen. Dieser Annahme hat neuerdings ein sehr berühmter deutscher Astronom, Professor Argelander, widersprochen[35]: wir werden an einem andern Orte untersuchen, in wie weit diese neue Meinung in Betreff der Bayer'schen Classification zulässig ist. Es steht wenigstens fest, daß im Allgemeinen mit den Buchstaben α, β, γ, δ die vier Hauptsterne jedes Bildes bezeichnet werden, so daß wenn man von einem Sternbilde zum andern fortgeht, diese Buchstaben α, β, γ, δ . . . zu Sternen von sehr verschiedenem Glanze gehören. Wenn man also sagt α im Großen Hunde, α im Stiere, α im Orion . . ., so will man damit nur Sirius, Aldebaran, die rechte Orionschulter oder Betelgeuze . . . bezeichnen, ohne allen diesen Sternen gleichen Glanz zuschreiben zu wollen.

Die Neueren bezeichnen, nach Erschöpfung der Buchstaben des griechischen und des lateinischen Alphabets, die in jedem Bilde noch übrigen Sterne entweder durch Zahlen (indem man sich an die Aufeinanderfolge dieser Sterne in einem bekannten Kataloge anschließt, z. B. an die Sternverzeichnisse von Flamsteed, Piazzi u. A.), oder besser noch durch die Zahlen, welche den Ort der Sterne am Himmel bestimmen.

Fünftes Kapitel.

Anzahl der Sternbilder.

Ptolemäus zählte 48 Sternbilder auf, 21 nördliche, 15 südliche und 12 zwischenliegende in der Nähe des Aequators, oder vielmehr in

---

ρ . . .	Rho	φ . . .	Phi
σ . . .	Sigma	χ . . .	Chi
τ . . .	Tau	ψ . . .	Pſi
υ . . .	Ypſilon	ω . . .	Omega

derjenigen Himmelszone, durch welche sich die Sonne in ihrem jährlichen Laufe bewegt, und die wir die Ekliptik genannt haben.

Da zwei benachbarte Sternbilder nicht genau an einander passen, so gab es am ptolemäischen Himmel viele Sterne, welche zu keinem der Bilder gehörten, zwischen denen man sie glänzen sah; diese in den Umrissen der Bilder nicht eingeschlossenen Sterne nannte man aus diesem Grunde unförmliche.

Aus solchen unförmlichen Sternen haben die späteren Astronomen neue Sternbilder gemacht, und Schmeichelei, Dankbarkeit oder bloße Einfälle haben es veranlaßt, daß man die Namen von Fürsten, großen Männern, Thieren und allerlei Instrumenten am Himmel prangen sieht.

Die 12 Sternbilder rund um die Ekliptik, welche Ptolemäus beschreibt, sind folgende:

Der Widder,
Der Stier,
Die Zwillinge,
Der Krebs,
Der Löwe,
Die Jungfrau oder Ceres,
Die Waage oder die Scheeren des Scorpions,
Der Scorpion,
Der Schütze oder Chiron,
Der Steinbock,
Der Wassermann oder Deukalion, oder der Mann mit der Urne,
Die Fische.

Die 21 Sternbilder die Ptolemäus am Nordhimmel aufzählt, sind diese:

Der Kleine Bär, oder der kleine Wagen, Cynosura, oder der Schwanz des Hundes,
Der Große Bär oder der Wagen Davids,
Der Drache,
Cepheus,
Bootes oder der Bärenhüter,
Die nördliche Krone,

Herkules oder der knieende Mann,
Die Leyer oder der fallende Geyer,
Der Schwan oder der Vogel, auch das Kreuz genannt,
Cassiopeja oder der Thron oder der Stuhl,
Perseus,
Der Fuhrmann oder Erichthon,
Ophiuchus oder der Schlangenträger, Aeskulap,
Die Schlange,
Der Pfeil und der Bogen,
Der Adler oder der fliegende Geyer,
Der Delphin,
Das Kleine Pferd,
Pegasus oder das fliegende Pferd, auch das Große Kreuz genannt,
Andromeda oder das gefesselte Weib,
Das nördliche Dreieck oder das Delta.

Folgende 15 Sternbilder werden von Ptolemäus südlich von der Ekliptik beschrieben:

Der Wallfisch,
Orion,
Der Fluß Eridanus,
Der Hase,
Der Große Hund,
Der Kleine Hund oder der vorangehende Hund,
Das Schiff Argo oder der Meereswagen,
Die weibliche Wasserschlange,
Der Becher oder die Urne,
Der Rabe,
Der Altar,
Der Centaur,
Der Wolf oder die Lanze des Centaur oder der Panther, das Thier,
Die südliche Krone, der Caduceus oder Uraniscus,
Der südliche Fisch.

Unter den neueren Astronomen ist Tycho de Brahe der erste, der im Jahre 1603 zwei Sternbilder denen des Ptolemäus hinzufügte, nämlich:

Das Haar der Berenice[36]), gebildet aus den unförmlichen Sternen am Halſe des Löwen;

Antinous, aus Sternen in der Nähe des Adlers zuſammengeſetzt.

Um dieſelbe Zeit wie Tycho de Brahe fügte Johann Bayer zwölf neue Sternbilder den beiden ſüdlichen Bildern des Ptolemäus hinzu; er folgte darin den Berichten des Amerigo Vespuzzi und den Seefahrern, die zuerſt den Himmel der neuen Welt erblickt hatten[37]).

Dieſe Bilder ſind:

Der Pfau,

Der Tukan oder die amerikaniſche Gans,

Der Kranich,

Der Phönix,

Die Dorade oder Xiphias,

Der fliegende Fiſch,

Die männliche Waſſerſchlange oder die ſüdliche Schlange,

Das Chamäleon,

Die Biene oder Fliege,

Der Paradies-Vogel oder der indiſche Vogel, oder der Vogel ohne Füße,

Das ſüdliche Dreieck,

Der Inder.

Auguſtin Royer im Jahre 1679 und Hevel im Jahre 1690 haben gleichfalls neue Sternbilder geſchaffen, unter denen einige gemeinſchaftlich ſind; andere befanden ſich auch ſchon auf der Himmelskarte von Bartſch, die im Jahre 1624 erſchienen war. Die doppelt vorkommenden abgerechnet, findet man 16 neue, heutzutage geltende Sternbilder, nämlich:

11 bei Hevel[38]),

Die Giraffe oder das Kameelopard,

Das Einhorn, Monoceros,

Der Fluß Jordan oder die Jagdhunde, Aſterion und Chara,

Der Fluß Tigris oder der Fuchs mit der Gans,

Die Eidechſe oder das Scepter und die Hand der Gerechtigkeit,

Der uraniſche Sextant,

Der Kleine Löwe,

Der Luchs,
Das Schild des Sobiesky,
Das kleine Dreieck,
Cerberus und der Zweig;

5 bei Auguſtin Royer [39]):

Die Taube des Noah,
Das ſüdliche Kreuz oder der Thron Cäſars,
Die Kleine Wolke,
Die Große Wolke,
Die Lilie oder die Fliege.

Halley hat vom ſüdlichen Theile des Schiffes Argo eine Sterngruppe abgetrennt, und daraus einen Baum gebildet, den er die Eiche Karl's II. nannte, zum Gedächtniß an die Eiche, welche dieſem Könige in ſeiner Unglückszeit das Leben rettete [40]).

In Flamſteed's Karten findet man außer andern Sternbildern, die Wiederholungen der früheren ſind, den Berg Mänalus und das Herz Karl's II., deſſen Hauptſtern ſich am Halsbande der Chara, eines der Hevel'ſchen Jagdhunde, befindet.

Lacaille hat in den Memoiren der Akademie der Wiſſenſchaften für 1752 den Verſuch gemacht die leeren Stellen auszufüllen, welche die älteren Sternbilder auf der ſüdlichen Halbkugel übrig ließen, indem er 14 neue Sternbilder ſchuf; er hat davon folgendes Verzeichniß gegeben, welches wir ſeiner Abhandlung wörtlich entnehmen:

I. Die Bildhauerwerkſtatt, beſtehend aus einem Fußgeſtelle, auf dem ſich ein Modell befindet, und aus einem Marmorblocke, auf welchem Schlägel und Meißel ruhen.

II. Der chemiſche Ofen mit ſeinem Deſtillirkolben und Recipienten.

III. Die Secundenpendeluhr.

IV. Das rhomboidiſche Netz, ein kleines aſtronomiſches Inſtrument, welches dem Verfaſſer zur Anfertigung des Kataloges gedient hat, und das durch den Durchſchnitt von vier geraden Linien erhal-

ten wird, die man von jeder Winkelecke eines Quadrats nach dem Halbirungspunkte einer der gegenüberliegenden Seiten zieht.

V. Der Grabſtichel: die Figur enthält einen Stichel und eine Radirnadel, beide gekreuzt und durch ein Band verbunden.

VI. Die Malerſtaffelei, an der ſich eine Palette befindet.

VII. Die Buſſole oder der Seecompaß.

VIII. Die Luftpumpe mit ihrer Glasglocke, um die Experimentalphyſik zu repräſentiren.

IX. Der Octant oder der Reflexionsquadrant, wichtigſtes Inſtrument der Seefahrer zur Polhöhenbeſtimmung u. ſ. w.

X. Der geometriſche Zirkel.

XI. Das Winkelmaaß und Lineal.

XII. Das Teleſkop oder das große aſtronomiſche Fernrohr, an einem Maſte befeſtigt.

XIII. Das Mikroſkop: wie es gewöhnlich dargeſtellt wird, beſteht daſſelbe aus einer Röhre, welche ſich über einem viereckigen Kaſten befindet.

XIV. Endlich hat Lacaille unterhalb der Großen Wolke den Tafelberg geſetzt, welcher am Cap, wie er ſagt, ſo berühmt iſt wegen ſeiner tafelförmigen Geſtalt, und beſonders einer weißlichen Wolke wegen, die ihn vor Eintritt des heftigen Südoſtwindes wie ein Tuch bedeckt[41]); übrigens nennen die meiſten Seefahrer Capwolken das, was wir die Magellaniſchen Wolken oder die Große und die Kleine Wolke nennen.

Im Jahre 1776 ſchuf Lemonnier zwiſchen der Caſſiopeja und dem Polarſterne ein neues Sternbild, welches er das Rennthier nannte; auch fügte er das Bild des Einſiedlers hinzu, eines indiſchen Vogels, den er unterhalb des Scorpions ſetzte[42]).

Lalande hat in ſeinem Globe céleste den Erntehüter[43]) an der Seite des Rennthiers hinzugefügt.

Poczobut führte im Jahre 1777 den königlichen Stier von Poniatowsky[44]) zwiſchen Adler und Scorpion ein.

Pater Hell hat im Eridanus eine neue Gruppe gebildet, der er den Namen Georgsharfe[45]) gegeben hat.

Endlich findet man in Bode's Karten noch die folgenden Sternbilder:

Die Friedrichsehre [46]),
Das Brandenburgische Scepter [47]),
Das Herschelsche Teleskop [48]),
Den Luftballon,
Den Mauerquadranten [49]),
Die Lochleine,
Die Elektrisirmaschine,
Die Buchdruckerwerkstatt.

So kommen wir schon zu einer Gesammtsumme von 108 Sternbildern.

Wir fügen noch hinzu, daß man gewöhnlich auch unterscheidet das Meduſenhaupt in der Nähe des Perseus; die Plejaden oder die Gluckhenne auf dem Rücken, sowie die Hyaden an der Stirn des Stiers; ferner die Keule des Herkules; den Gürtel des Orion, den man auch mitunter den Rechen nennt, oder die drei Könige oder den Jakobsstab; das Schwert des Orion; im Krebse die beiden Esel, zwischen welchen sich ein Sternhaufen befindet, welchen man den Stall nennt oder die Krippe oder Präsepe; endlich die Ziegenböcke oder die Böcke, ganz in der Nähe der Capella, im Sternbilde des Fuhrmanns.

Diese Unterabtheilungen muß man gleichfalls kennen; dadurch steigt die Zahl der gewöhnlich angenommenen Sternbilder auf 116.

Ich kann diese einförmige Aufzählung nicht beenden, ohne mit meinem berühmten Freunde Alexander von Humboldt aufmerksam zu machen auf „die durch den Lauf der Jahrhunderte so zufällig entstandene, künstliche Gruppirung der Sterne zu Bildern, ihre oft unbequeme Größe und schwankenden Umrisse; die verworrene Bezeichnung der einzelnen Sterne in den Constellationen, mit Erschöpfung mehrerer Alphabete, wie in dem Schiffe Argo; das geschmacklose Vermischen mystischer Personen mit der nüchternen Prosa von physikalischen Instrumenten.“ (Kosmos Bd. III. S. 162.)

Sechstes Kapitel.

Aeußere Umriſſe der Sternbilder.

Wir beſitzen keine genaue Darſtellung der Conſtellationen des Alterthums; ihre Geſtalt iſt uns nur bekannt aus Beſchreibungen, die meiſt äußerſt kurz ſind. Aber eine Schilderung in Worten kann niemals eine Zeichnung erſetzen, beſonders wo es ſich um complicirte Geſtalten handelt; daher kommt es, daß wir etwas ungewiß ſind über die Geſtalt, die Lage und den eigentlichen Ort der Figuren von Menſchen, Thieren und unbelebten Objecten, aus denen die Sternbilder der alten griechiſchen Aſtronomen beſtanden; bei Wiederholung dieſer Bilder auf den neueren Himmelskugeln und Karten iſt man aus dieſem Grunde auf wirkliche Schwierigkeiten geſtoßen. Es kommt noch hinzu, daß einige Aſtronomen abſichtlich Aenderungen eingeführt haben, z. B. Ptolemäus bei den Sternbildern, die vor ſeiner Zeit beſtanden hatten, beſonders bei denen des Hipparch. Ptolemäus gibt an (Almageſt, 7. Buch, 5. Kap.), zu dieſen Aenderungen habe ihn die Nothwendigkeit veranlaßt, den Figuren die richtigen Verhältniſſe zu geben und ſie zugleich den wirklichen Sternörtern anzupaſſen. So hatten im Sternbilde der Jungfrau, wie es Hipparch zeichnete, gewiſſe Sterne an den Schultern geſtanden; dieſe ſetzt Ptolemäus in die Rippengegend, um die Conſtellation beſſer zuſammenzubringen.

Zeichner und Maler haben gleichfalls bei Wiederherſtellung der alten Sternbilder ihrer Einbildungskraft freies Spiel gelaſſen, ohne ſich genau an die Beſchreibungen der Aſtronomen zu halten; ganz beſonders findet dieſe Bemerkung auf diejenigen Künſtler Anwendung, welche an den Bildern in den Ueberſetzungen der Schrift des Hyginus mitgearbeitet haben.

Es hat mir paſſend geſchienen hier Abbildungen von den Sternbildern einzuſchalten, in der Weiſe, wie ſie bei den Aſtronomen aller Zeiten am gebräuchlichſten ſind; ſo wie man dieſelben in den Figuren 100 und 101 erblickt, ſollen ſie nur den Zweck haben die Namen dem Gedächtniß einzuprägen, denn wie die Oerter der einzelnen Hauptſterne aſtronomiſch beſtimmt werden, haben wir ſchon oben geſehen (2. Kap. S. 263).

Beginnen wir die Wanderung vom Nordpol aus in der nördlichen Hemisphäre (Fig. 100), und gehen wir von links nach rechts, als in derjenigen Richtung, welche der täglichen, scheinbaren Bewegung entgegengesetzt ist, so daß wir uns immer weiter vom Mittelpunkte entfernen und dem Kreisumfange des Aequators nähern; so werden wir die Sternbilder unserer Halbkugel in folgender Ordnung durchlaufen:

Der Kleine Bär,
Der Drache,
Cepheus,
Cassiopeja,
Das Rennthier,
Der Erntehüter,
Die Giraffe,
Der Große Bär,
Die Jagdhunde,
Das Herz Karl's II.,
Bootes oder der Bärenhüter,
Der Mauerquadrant,
Die nördliche Krone,
Herkules,
Die Keule,
Cerberus und der Zweig,
Die Leyer,
Der Schwan,
Die Eidechse,
Friedrichsehre,
Andromeda,
Das Dreieck,
Das Kleine Dreieck,
Die Fliege,
Perseus,
Das Meduſenhaupt,
Der Fuhrmann,
Die Ziegenböcke,
Das Herschel'sche Teleskop,
Der Luchs,
Der Kleine Löwe,
Das Haar der Berenice,
Die Jungfrau,
Der Berg Mänalus,
Die Schlange,
Ophiuchus,
Der königliche Stier des Poniatowsky,
Der Adler,
Antinous,
Der Pfeil,
Der Fuchs und die Gans,
Der Delphin,
Das Kleine Pferd,
Der Wassermann,
Pegasus,
Die Fische,
Der Widder,
Der Wallfisch,
Der Stier,
Die Plejaden,
Die Hyaden,
Die Georgsharfe,
Eridanus,
Orion,
Das Einhorn,

Die Zwillinge,
Der Kleine Hund,
Der Krebs,
Die beiden Esel oder Praesepe,
Die weibliche Wasserschlange,
Der uranische Sextant.
Der Löwe,

Im Ganzen 62 Sternbilder.

Stellen wir uns ebenso in den Mittelpunkt derjenigen Sternkarte, auf welcher die südliche Halbkugel dargestellt ist, und bewegen wir uns gleichfalls von links nach rechts, so werden wir (Fig. 101) die sämmtlichen dort befindlichen Sternbilder in folgender Ordnung antreffen:

Der Octant,
Das Chamäleon,
Die südliche Fliege,
Der Paradiesvogel,
Der Pfau,
Der Inder,
Der Tukan,
Die Kleine Wolke,
Die männliche Wasserschlange,
Der Tafelberg,
Die Große Wolke,
Das rhomboidische Netz,
Der Schwertfisch,
Die Malerstaffelei,
Der fliegende Fisch,
Das Schiff,
Die Eiche Karl's II.,
Das südliche Kreuz,
Der Centaur,
Der Wolf,
Der Zirkel,
Das südliche Dreieck,
Das Winkelmaaß und das Lineal,
Der Altar,
Das Fernrohr,
Die südliche Krone,
Der Schütze,
Das Mikroskop,
Der Kranich,
Der Phönix,
Eridanus (kleinen Theils auf der nördlichen Halbkugel),
Die Uhr,
Der Grabstichel,
Die Taube,
Der Hase,
Der Große Hund,
Die Buchdruckerwerkstatt,
Die Boussole,
Die Lochleine,
Die Katze,
Die Luftpumpe,
Die weibliche Wasserschlange (theilweise auf der nördlichen Halbkugel),
Der Becher,
Der Rabe,
Die Jungfrau (theilweise auf der nördlichen Halbkugel),
Der Einsiedler,

Die Waage,
Der Skorpion,
Ophiuchus (theilweise auf der nördlichen Halbkugel),
Die Schlange (ebenfalls),
Das Sobiesky'sche Schild,
Antinous (theilweise auf der nördlichen Halbkugel),
Der Steinbock,
Der Wassermann, (theilweise auf der nördlichen Halbkugel),
Der Luftballon,
Der südliche Fisch,
Die Bildhauerwerkstatt,
Der Wallfisch (theilweise nördl.),
Die Fische (theilweise nördlich),
Die Elektrisirmaschine,
Der chemische Ofen,
Die Georgsharfe (theilw. nördl.),
Das brandenburgische Scepter,
Orion (theilweise nördlich),
Das Schwert,
Der Gürtel,
Das Einhorn (theilweise nördlich),
Der uranische Sextant (ebenfalls),
Der Löwe (ebenfalls).

Im Ganzen 54 gänzlich der südlichen Hemisphäre angehörige Sternbilder.

In den Karten 100 bis 103 ist der gestirnte Himmel auf eine Ebene projicirt, welche die Himmelskugel im Nordpole berührt oder in diesem Punkte senkrecht auf der Weltaxe steht.

Siebentes Kapitel.

Die Bilder und Zeichen des Thierkreises (Zodiakus).

Diejenigen Sterne die sich in der Region des Himmels befinden, welche die Sonne infolge ihrer eigenen Bewegung jährlich zu durchlaufen scheint, wurden in unbekannter, aber ältester Vorzeit in zwölf Gruppen gebracht, welche man die Sternbilder des Thierkreises oder die Zodiakalbilder genannt hat.

Die eine von diesen Gruppen erhielt den Namen der Widder ♈.

Die zweite in der Richtung von West nach Ost hieß der Stier ♉.

Die dritte nannte man die Zwillinge ♊.

Darauf kommen in der Reihe wie sie nebeneinander liegen: der Krebs ♋, der Löwe ♌, die Jungfrau ♍, die Waage ♎, der Skorpion ♏, der Schütze ♐, der Steinbock ♑, der Wassermann ♒ und die Fische ♓.

Mit den Zeichen, welche ich den zwölf Namen beigesetzt habe, werden diese Sternbilder in den astronomischen Büchern und in den Kalendern bezeichnet; ihr Ursprung ist nicht in allen Fällen zu erklären: z. B. das erste ♈ bedeutet die Hörner des Widders, das zweite ♉ den Stierkopf. Der Stachel dem Buchstaben m angehängt, bezeichnet den Skorpion ♏[50]); über den Schützen ♐ läßt der Pfeil keinen Zweifel; ♑ ist entstanden aus der Vereinigung der beiden Buchstaben τϱ, mit denen das Wort τϱαγος, Bock, beginnt[51]). Waage und beide Fische erkennt man leicht an ihren Zeichen ♎, ♓; den Wassermann endlich bezeichnet ein Wasserstrom ♒.

Das gegenwärtig dem Aequator benachbarte Gestirn des Widders ist dasjenige, welches die Sonne zu Hipparch's Zeiten im Frühlingsäquinoctium durchwanderte.

Aber der soeben erwähnte große Astronom erkannte, daß der Ort des Aequinoctiums unter den Sternbildern nicht fest bleibt, sondern daß sich der Nachtgleichenpunkt alljährlich um etwa 50″ verrückt, und zwar in der Richtung von Osten nach Westen; daß ferner das Aequinoctium infolge dieser Bewegung, welche die Präcession genannt wird, innerhalb eines Zeitraums von etwa 26000 Jahren (25870) in alle Sternbilder des Thierkreises fallen muß.

Die Präcessionsbewegung nennt man eine rückgängige Bewegung, weil sie von Osten nach Westen, entgegen der scheinbaren eigenen Bewegung der Sonne und aller Planeten gerichtet ist.

Infolge dieser rückgängigen Bewegung fällt gegenwärtig die Nachtgleiche, welche zu Hipparch's Zeit, wie bereits bemerkt wurde, im Widder lag, in die Fische; nichtsdestoweniger gibt das Annuaire des Längenbureau an, daß die Sonne am 21. März in den Widder tritt, ein Umstand, der ungenau scheinen könnte. Zur Beseitigung dieses Widerspruchs ist es nöthig hier den Unterschied auseinanderzusetzen, der zwischen den gleichnamigen Sternbildern und Zeichen besteht.

Man betrachtete die zwölf Sternbilder des Thierkreises wie die aufeinander folgenden Häuser der Sonne bei ihrem jährlichen Umlauf; aber diese Sternbilder waren von ungleicher Ausdehnung. Ueberdies haben wir auch schon bemerkt, daß zwei nachbarliche Sternbilder nicht dergestalt an einander stoßen können, daß nicht zwischen ihnen ein

Raum mit oder ohne Sterne zurückbliebe, welcher eigentlich zu keinem der anstoßenden Sternbilder gehört. Diese Art der Eintheilung konnte wohl einer unvollkommenen Astronomie Genüge leisten, aber bei einiger Ausbildung derselben reichte sie nicht mehr aus, und entsprach nicht dem Bedürfniß. Man theilte daher die Bahn, oder die 360 Grade, welche die Sonne alljährlich durchläuft, in zwölf Abtheilungen oder Zeichen, jedes von 30 Graden. Der Anfang des ersten Zeichens fiel in die Frühlingsnachtgleiche; und da diese Jahreszeit zu Hipparch's Zeiten in dem Augenblicke begann, wo die Sonne das Sternbild des Widders betrat, so nannte man dies erste Zeichen, diese erste Abtheilung von 30 Graden, das Zeichen des Widders; das zweite Zeichen oder die folgenden 30 Grade erhielten die Benennung Zeichen des Stiers und ähnlich die übrigen.

Um jede Verwirrung zu vermeiden, muß man sorgfältig zwischen Sternbild und Zeichen unterscheiden.

Die Sternbilder sind menschliche oder thierische Gestalten, welche man im Thierkreise zeichnet, und die, wie schon bemerkt, durchaus in keiner Beziehung stehen mit der Anordnung der darin enthaltenen Sterne.

Die Zeichen dagegen sind Abtheilungen von je 30 Graden, und stehen nicht nothwendiger Weise in irgend einer Verbindung mit den Sternbildern, von denen sie die Namen führen. Infolge der Präcession der Aequinoctien stimmen die Zeichen jetzt nicht mehr mit den Sternbildern überein.

Das Zeichen des Widders beginnt nicht mehr im Sternbilde des Widders, sondern entspricht den Fischen.

Es mag hier sogleich bemerkt werden, daß gegenwärtig diese Eintheilung nach Zeichen in der eigentlichen Astronomie nicht mehr angewandt wird, und daß man sich ihrer in den Kalendern und Jahrbüchern nur noch aus alter Gewohnheit bedient. Dadurch daß man den Zeichen unbedachtsamer Weise die Namen der Gestirne beigelegt hat, mit welchen sie nicht immer zusammenfallen konnten, hat man eine neue Quelle von Verwechselungen zu der in der Wissenschaft bereits vorhandenen hinzugefügt, und den einzigen Vortheil damit erlangt (wenn

es, wie Voltaire sehr treffend bemerkt, überhaupt ein Vortheil zu nennen ist), daß unsere Almanache das rein nominelle Ansehen als alte Kalender erhalten haben.

Achtes Kapitel.

Anzahl der in den alten Sternbildern enthaltenen Sterne; Vertheilung derselben in verschiedene Größenklassen.

Die gesammten von Ptolemäus uns aufbewahrten Sternbilder enthalten 1026 Sterne, deren gegenseitige Stellungen von Hipparch bestimmt worden waren; diese Arbeit hatte Veranlassung gegeben zu folgenden Worten des Plinius[52]: „Hipparch wagte, was selbst für einen Gott äußerst kühn gewesen wäre, der Nachwelt eine Zählung der Sterne zu überliefern".

Das Sternverzeichniß des Ptolemäus enthält:

Für die 21 nördlichen Sternbilder	361 Sterne.
Für die 12 Sternbilder des Thierkreises	350 „
Für die 15 südlichen Sternbilder	318 „
Oder für die 48 Sternbilder überhaupt	1029 Sterne.

Nach Abzug von drei Wiederholungen bleiben 1026 Sterne; gewöhnlich wird die Zahl von 1022 angegeben.

Die Himmelskarten des im Jahre 1801 von dem berliner Astronomen Bode herausgegebenen Atlas enthalten nicht mehr blos die Zahl von 1026 Sternen; man findet darin 14891 Sterne nebst 2014 Nebelflecken. Es darf indessen nicht unerwähnt bleiben, daß dies Verzeichniß mit Hülfe von Fernröhren angefertigt wurde, wodurch Sterne sichtbar werden, die man mit bloßen Augen nicht wahrnimmt.

Vielleicht liest man hier nicht ungern die Anzahl von Sternen, welche nach den von Hipparch mit bloßen Augen angestellten Beobachtungen, in einigen Sternbildern enthalten sind, und zwar zusammengestellt mit der Anzahl derjenigen Sterne, welche Tycho-Brahe und Hevel gleichfalls mit unbewaffneten Augen beobachtet haben[53]:

Namen der Gestirne.	Hipparch oder Ptolemäus.	Tycho.	Hevel.
Kleiner Bär	8	7	12
Großer Bär	35	29	73
Bootes	23	18	52
Nördliche Krone	8	8	8
Herkules[54])	29	28	45
Leyer	10	11	17
Widder	18	21	27
Stier	44	43	51

Ich habe bei diesen Beispielen keine Sternbilder des Südhimmels hinzugezogen, weil es sich in diesem Falle leicht denken ließe, warum in den nördlichen Beobachtungsorten Uranienburg und Danzig beträchtlich weniger Sterne bemerkt wurden, als zu Alexandrien oder zu Rhodos, wo, nach Angabe der Geschichtschreiber, Hipparch seine Beobachtungen anstellte.

Man würde übrigens Unrecht thun, wollte man die Unterschiede, welche die obige Zusammenstellung zwischen den von den genannten drei Astronomen gezählten Sternen ausweist, der Ungleichheit der Augen ausschließlich zuschreiben, obgleich allerdings die Gesichtsschärfe bei verschiedenen Menschen äußerst verschieden ist. Im Vorhergehenden (5. Buch, 3. Kap. S. 166) haben wir das Vorhandensein dieser Ungleichheit schon an einigen Thatsachen nachgewiesen.

Die Anzahl der Sterne, die man mit bloßem Auge in einer Halbkugel wahrnimmt, schätzt man auf nicht mehr als tausend.

Jene 1026 Sterne, aus denen die den alten griechischen Astronomen bekannten Sternbilder bestanden, hatte man in verschiedene Größenklassen gebracht. Die allerhellsten hießen Sterne erster Größe; dann kamen die von der zweiten, dritten, vierten, fünften Größe; zur sechsten Größe gehörten die kleinsten mit bloßem Auge sichtbaren Sterne. Aber in dieser allgemeinen Reihenfolge, in der die Helligkeiten von der ersten bis zur letzten Klasse stufenweise abnehmen, sind die Punkte, wo man die Grenze ziehen soll zwischen den Sternen erster Größe und zweiter Größe, zwischen den Sternen zweiter und dritter u. s. w. will-

kürlich, und man kann ſich nicht wundern, wenn die Aſtronomen in dieſer Hinſicht nicht wohl übereinſtimmen.

In ihren Verzeichniſſen zählten die alten Aſtronomen [55])

15 Sterne erſter Größe,
45 zweiter,
208 dritter,
474 vierter,
217 fünfter,
49 ſechſter.

Ueberdieß 9 Sterne die, man weiß nicht aus welchem Grunde, dunkle hießen, und 5 Nebelflecke, ungerechnet das Haar der Berenice.

Von denſelben 1026 Sternen des Hipparch zählte Keppler 58 zur zweiten Größe, 218 zur dritten und 499 ſetzte er in die vierte.

In einem ſpätern Abſchnitt, der ausſchließlich der Fixſtern-Aſtronomie gewidmet werden ſoll, werde ich das Verhältniß der Helligkeiten angeben, das im Mittel zwiſchen den Sternen erſter, zweiter, dritter Größe u. ſ. w. beſteht, ſowie auch die comparativen Helligkeiten der Hauptſterne in jeder dieſer Klaſſen.

Die hier eingefügten Planiſphären (Fig. 102 S. 281 und 282; Fig. 103 S. 288 und 289) geben eine Darſtellung des Himmels. Die einzelnen Sternbilder erſcheinen darin alle verzogen, weil man kein Stück der Kugelfläche auf einer ebenen Fläche abwickeln kann, d. h. ſo daß nicht Verkürzungen nach gewiſſen Richtungen und Verlängerungen nach andern Richtungen hin einträten; aber für die Beobachtung ſind ſolche Himmelskarten bequem. Auf dieſen Blättern ſowohl, als auch auf den ſpäter zu gebenden Zeichnungen werden die Sterne ihrer Größe nach, bis zur ſechſten Größenklaſſe hinab, durch die willkürlich gewählten Zeichen vorgeſtellt, welche Fig. 104 zeigt.

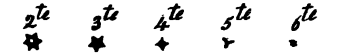


Fig. 104. — Bezeichnungsweiſe der Sterngrößen.

Dieſe Himmelskarten ſind nach denen des Herrn Dien entworfen; die Oerter der Sterne beziehen ſich auf das Jahr 1850. Die Karten 100 und 101 unterſcheiden ſich von den gegenwärtigen nur

dadurch, daß dort die Zeichnungen von Menschen, Thieren und Instrumenten hinzugefügt sind, wodurch das Studium der Sterne einigermaßen erschwert wird, obgleich auch die Kenntniß dieser Zeichnung ihren Nutzen hat.

In den Karten 102 und 103 sind die hauptsächlichen Sterne jedes Bildes untereinander durch gerade Linien verbunden worden, wodurch man nützliche Allignements erhält; wie der Himmel unter die verschiedenen Sternbilder vertheilt ist, geben die punktirten Linien an.

Der äußerste Kreis auf diesen Karten stellt den Aequator vor, der zur Bezeichnung der Rectascensionen auf der einen Seite in Grade, auf der andern oder außerhalb in Stunden getheilt ist; als Mittelpunkt jeder Karte gilt der nördliche oder der südliche Weltpol; dabei gehen 15 Grade oder $^{360}/_{24}$ Grade auf eine Stunde.

Derjenige horizontale Radius, welcher auf den Nullpunkt des Aequators trifft, ist in 90 gleiche Theile getheilt worden, um die Grade und Bruchtheile von Graden der Declinationen vorzustellen.

Will man nun einen Stern in die Karte einzeichnen, so zieht man einen Radius vom Mittelpunkte aus nach demjenigen Theilpunkte des Aequators, der am Ende des die Rectascension des Sterns messenden Bogens steht, und trägt hierauf vom Aequator aus, auf dem soeben gezogenen Radius, eine der Declination gleiche Länge ab.

Auf jeder Planisphäre bezeichnet ein kleiner Kreis die Bahn, welche die Weltpole in 25870 Jahren in der Richtung, die der Pfeil angibt, durchlaufen, und zwar bezeichnet der Nullpunkt auf diesem kleinen Kreise den Ort des Pols zur Zeit von Christi Geburt, zwischen β des Kleinen Bären und $\varkappa$ des Drachen. Der Stern Wega in der Leyer, der gegenwärtig zu Paris durchs Zenith geht, wird nach etwa 13000 Jahren unbeweglich in der Nähe des Pols zu stehen scheinen.

Endlich ist auf jeder Planisphäre auch der Lauf der Ekliptik angegeben, d. h. der Weg, welchen die Sonne im Jahre, die Thierkreisbilder durchwandernd, zurücklegt.

Neuntes Kapitel.

Hülfsmittel um die Sternbilder der Alten kennen zu lernen.

Wie ich ſchon geſagt habe, liegen von den 48 Sternbildern, welche uns Ptolemäus überliefert hat, 12 in der mittleren Gegend zwiſchen Nord und Süd, und dieſe reichen zuſammen um den Himmel herum. Nähme jedes von dieſen Bildern, wie man häufig annimmt, genau einen Raum von 30 Graden ein, d. h. $^{360}/_{12}$, ſo hätte man, um von einem dieſer Sternbilder zum andern zu kommen, nur nöthig vom öſtlichſten Sterne des erſten ausgehend einen Zwiſchenraum von 30 Graden zu durchlaufen; aber eine ſo genaue Gleichheit findet bei dieſen Sternbildern keineswegs ſtatt, wie ſchon oben angedeutet wurde (7. Kap. S. 281). So nahm z. B. der Krebs beim Ptolemäus nur 14° ein, wenn man die ſogenannten unförmlichen Sterne wegläßt; die Jungfrau dagegen griff über in den Löwen und die Waage u. ſ. f. Dies hindert aber nicht, daß man ſich mit großem Nutzen der Reihenfolge, in welcher dieſe zwölf Sternbilder neben einander liegen, bedienen kann, um von einem derſelben zum nächſtliegenden öſtlicheren Bilde überzugehen.

Deßhalb muß man ſich dieſe Reihenfolge einprägen. Ich wiederhole zunächſt die Namen dieſer Bilder, von Weſt nach Oſt fortſchreitend: der Widder, der Stier, die Zwillinge, der Krebs, der Löwe, die Jungfrau, die Waage, der Skorpion, der Schütze, der Steinbock, der Waſſermann und die Fiſche.

Die beiden folgenden lateiniſchen Verſe des Auſonius enthalten dieſe zwölf Namen in derſelben Folge[56]):

Sunt Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo,
Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces.

Unter den genannten zwölf Sternbildern befinden ſich mehrere, der Stier, der Löwe, der Skorpion, die es hinreicht einmal geſehen zu haben, um ſie jederzeit wiederzuerkennen; mit Hülfe dieſer kann man durch eine Art Einſchaltung den Ort der übrigen Sternbilder nahezu finden.

Das beſte Mittel um die Sternbilder kennen zu lernen und am Himmel aufzufinden, iſt die Vergleichung des Himmels mit genauen

Sternkarten, wie die, welche wir in Fig. 102 und 103 geben, nur in größerem Maaßstabe. Solche Karten sind gewissermaßen Miniaturbilder des Himmels, auf denen die Sterne unter Beibehaltung aller Verhältnisse, in ihren wahren, gegenseitigen Stellungen abgebildet sind. Da es indessen sehr nützlich ist, besonders wenn man auf Reisen keine Karten zur Hand hat, im Besitze einiger Fixpunkte am Himmel zu sein, so will ich die vorzüglichsten Sterngruppen anführen, die sich durch Alignements finden lassen, indem man vom Großen Bären ausgeht, dem Jedermann bekannten Sternbilde, welches in unsern Gegenden fortwährend sichtbar ist.

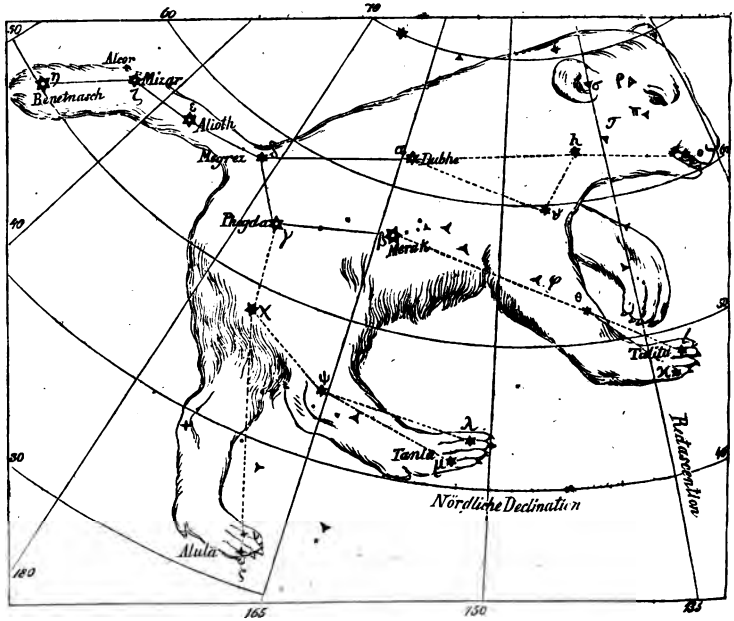


Fig. 103. — Sternbild des Großen Bären.

Die Hauptsterne des Großen Bären haben fast alle gleichen Glanz; ihre Stellung zeigt Fig. 105.

Die Sterne α, β, γ, δ befinden sich am Körper des Großen Bären, während durch die Sterne ε, ζ, η der Schwanz bezeichnet wird.

Die Sterne α und β im Großen Bären heißen auch die Wächter. Fast alle Sterne dieses schönen Bildes haben besondere Namen erhalten; obgleich diese Namen nicht allgemein gebräuchlich sind, so werden sie doch von einigen Astronomen angeführt und gebraucht. Sie sind folgende[57]):

Für α Dubhe	Für ε Alioth
β Merak	ζ Mizar
γ Phegda	η Benetnasch (auch Ackard).
δ Megrez	

Die kleinen Sterne o, τ, h, v u. s. w., die nahezu in einem Halbkreise stehen, dessen convexe Seite dem Hauptviereck $\alpha\ \beta\ \gamma\ \delta$ zugekehrt ist, bilden den Kopf des Bären. Die Sterne an den Klauen λ und μ heißen Tania, ν und ξ Alula, ι Talita.

Noch verdient ein kleiner Stern fünfter oder sechster Größe Erwähnung, der sich am Schwanze des Großen Bären befindet und Alcor genannt wird; er ist nur 11′ 48″ von Mizar entfernt, dessen Glanz ihn zu verdunkeln scheint. Mein Freund, Alexander von Humboldt, bemerkt daß die Araber diesen Stern Saidak, d. h. den Prüfer, nannten, weil man an ihm die Sehkraft zu prüfen pflegte[58]).

Will man in diesem Bilde einen Wagen (den Davidswagen) erkennen, so muß man die Sterne α, β, γ, δ als die vier Räder vorstellend betrachten; ε, ζ, η bezeichnen die Deichsel.

Indessen ist dieser Vergleich sehr mangelhaft, denn die Deichsel ist gebogen und überdies an einer Stelle des Wagens befestigt, die einem Rade entspricht*).

Verlängert man die Linie $\beta\ \alpha$ über α hinaus, gleichviel bei welcher Stellung des Sternbildes, so geht diese Linie bei einem alleinstehenden Sterne zweiter oder dritter Größe vorüber. Dies ist der jetzige Polarstern, den uns Fig. 106 zeigt; dieselbe Figur soll uns dazu dienen, alle wichtigen Sternbilder aufzufinden, die am Himmel zu Paris sichtbar sind.

Der Polarstern ist der dritte Stern in der Deichsel oder im

*) Die Irokesen, bemerkt Goguet, kannten den Großen Bären zur Zeit der Entdeckung Amerika's; sie nannten ihn Okuari, d. h. den Bären.

Schwanze eines Sternbildes, das dem Großen Bären sehr ähnlich ist; nur ist es kleiner als dieser und steht umgekehrt; man nennt es den Kleinen Bären.

Ein sehr merkwürdiges Sternbild ist die Cassiopeja, die mehrere Sterne zweiter Größe enthält; sie steht, in Bezug auf den Pol, dem Großen Bären allezeit gegenüber, so daß, wenn sich der Große Bär im höchsten Theil seiner täglichen Bahn befindet, Cassiopeja dem Horizonte nahe steht und umgekehrt; glänzen die Sterne des Großen Bären im Osten, so steht Cassiopeja westlich vom Polarsterne. Eine Linie von ε des Großen Bären durch den Polarstern gezogen durchschneidet stets die Mitte der Cassiopeja. Die sechs oder sieben hellsten Sterne dieses Bildes gleichen in ihrer Anordnung einem lateinischen V, dessen verticaler Strich etwas gebrochen ist; man könnte das Bild auch einem umgekehrten Sessel vergleichen. Selbst abgesehen von diesen Gestalten wird man das Sternbild mit Hülfe der angegebenen, einfachen Alignements jederzeit auffinden können.

Wird die Linie, welche uns den Polarstern zeigte, über den Pol hinaus verlängert, so geht sie durch das Sternbild des Pegasus; die Sterne an den vier Ecken des Quadrats sind von der zweiten Größe. Der südlichste heißt α im Pegasus oder Markab; der an der Markab gegenüberliegenden Ecke, welcher das Viereck des Pegasus vervollständigt, ist α in der Andromeda. Auf der Verlängerung einer Linie, die α im Pegasus mit α in der Andromeda verbindet, liegen die Sterne β und γ des letzteren Bildes; weiterhin trifft man in derselben Richtung, nur etwas näher am Pole, auf α im Perseus. Das Viereck des Pegasus macht in Verbindung mit β und γ in der Andromeda und α im Perseus eine dem Großen Bären nicht unähnliche Gruppe.

α im Perseus liegt aber auch auf der Verlängerung der Linie αδ durch die beiden äußersten Sterne im Schwanze des Kleinen Bären; endlich auch auf der Linie γα des Großen Bären. Verlängert man diese letztere etwas über α im Perseus hinaus, so trifft man auf den Stern β oder Algol desselben Bildes, einen sehr merkwürdigen Stern, dessen Größe ich nicht angebe, weil er in seinem Glanze sehr merklich veränderlich ist, wovon später die Rede sein wird. Algol ist zugleich der glänzende Stern im Medusenhaupte.

Wird die Linie $\alpha\beta$ im Großen Bären über β hinaus, alſo in der dem Pol entgegengeſetzten Richtung, um einen Bogen von etwa 45° verlängert, ſo führt ſie auf einen Stern erſter Größe, der am weſtlichen Ende der Grundlinie eines großen Trapezes ſteht. Dieſer Stern iſt α im Löwen, auch Regulus genannt. Am andern öſtlichen Ende dieſer Grundlinie des Trapezes glänzt β im Löwen oder Denebola, ein Stern von der zweiten Größe.

Verlängert man die Seite $\delta\alpha$ vom Vierecke des Großen Bären in der dem Schwanze oder der Deichſel entgegengeſetzten Richtung, ſo trifft ſie auf einen Stern erſter Größe, der eine Ecke eines unregelmäßigen Fünfecks einnimmt; dies iſt α im Fuhrmann oder Capella.

Ich bemerke daß der an der ſüdlichen Ecke des Fünfecks befindliche Stern nicht dem Fuhrmanne, ſondern einem andern Sternbilde angehört: es iſt β im Stier, ein Stern, den man auch das nördliche Horn des Stieres nennt. Durch eine Verlängerung von $\delta\alpha$ im Großen Bären trifft man außerdem auch auf Aldebaran oder α im Stier, das Stierauge. In dieſem Sternbilde des Stieres bemerkt man die Plejaden und die Hyaden.

Die Diagonale $\alpha\gamma$ im Vierecke des Großen Bären, über γ hinaus verlängert, geht durch den Stern α der Jungfrau, die Kornähre.

Endlich geht die Diagonale $\delta\beta$ deſſelben Vierecks zwiſchen zwei merkwürdigen Sternen hindurch, nämlich α und β der Zwillinge, zwei Sternen, die man Caſtor und Pollux nennt.

Auf der Verlängerung einer durch den Polarſtern und Pollux gelegten Linie trifft man Procyon oder α im Kleinen Hunde.

Die Linie $\zeta\eta$, welche die beiden äußerſten Sterne der Deichſel des Wagens oder des Schwanzes vom Großen Bären verbindet, geht in der Nähe eines Sternes von der erſten Größe vorüber: dies iſt α im Bootes oder Arktur.

Das ſchönſte Sternbild am Himmel iſt das des Orion, denn es enthält zwei Sterne erſter Größe und mehrere von der zweiten; man findet es in der durch den Polarſtern und Capella bezeichneten Richtung. Die drei Sterne in gerader Linie mitten in dieſem Bilde, die man den Gürtel des Orion nennt, zeigen öſtlich verlängert auf Sirius oder α im Großen Hunde. Sirius ſteht auch auf der Verlängerung

der Diagonale $\delta\beta$ des Vierecks im Großen Bären, durch welche wir ſchon die Zwillinge gefunden haben.

Faſt in der Verlängerung der Richtung von Capella durch den Polarſtern, über den letzteren hinaus, trifft man auf Wega oder α der Leyer [59]), und daneben bemerkt man das Sternbild des Schwans, das aus fünf Sternen beſteht, die ein Kreuz bilden.

Auf der Verlängerung einer geraden Linie, die durch δ im Großen Bären, den Polarſtern und α in der Andromeda geht, liegt im Aequator das Frühlingsäquinoctium.

Aldebaran im Stier, Antares im Skorpion, Regulus im Löwen und Fomalhaut im ſüdlichen Fiſche theilen den Himmel nahezu in vier gleiche Theile. Dieſe vier glänzenden und ausgezeichneten Sterne, welche auch die Königlichen heißen, waren ohne Zweifel die vier Hüter des Himmels bei den Perſern, 3000 Jahre vor unſerer Zeitrechnung [60]). Damals ſtand Aldebaran im Frühlingsäquinoctium, und war der Hüter des Oſten; Antares oder das Skorpionherz ſtand genau im Herbſtäquinoctium, und war der Hüter des Weſten; Regulus endlich war nur wenig vom Sommerſolſtitium entfernt, während Fomalhaut nahe beim Winterſolſtitium ſtand, ſo daß beide den Perſern wohl Süden und Norden bezeichnen konnten. Man bemerkt auch, wie ſehr in den ſpätern Jahrhunderten derjenige Punkt ſeine Lage ändern wird, den wir als den jetzigen Frühlingsnachtgleichenpunkt bezeichnet haben.

Zehntes Kapitel.

Zu welcher Zeit die Sternbilder eingeführt wurden.

Ueber die Frage nach der Epoche, in welcher die Sternbilder eingeführt worden ſind, iſt von ſehr verdienſtvollen Männern vielfach verhandelt worden, ohne daß man jedoch eine Beantwortung gefunden hätte, die nicht ernſtliche Schwierigkeiten darböte. Wenden wir uns zunächſt zu den Bildern der griechiſchen Sphäre, die ſich noch bis auf unſere Tage erhalten haben.

Nach Clemens Alexandrinus[61]), dem Newton hierin folgte, hat Chiron den Sternhimmel in verschiedene Gruppen oder Sternbilder eingetheilt.

Diese Meinung stützt sich auf einige Verse eines alten, griechischen Gedichts über den Kampf der Giganten, die Clemens Alexandrinus aufbewahrt hat.

Freret setzt die Geburt Chiron's ums Jahr 1420 vor Chr.; Chiron, der Lehrer des Jason, füllte die Sphäre mit Sternbildern zum Gebrauch der Argonauten. Man kann wohl annehmen, daß der Urheber dieser Arbeit sie im sechzigsten Lebensjahre ausgeführt habe, und unter dieser Voraussetzung würde also die älteste griechische Sphäre nur in das Jahr 1360 vor unserer Zeitrechnung zurückreichen; sie bleibt aber, wie man sieht, damit dennoch älter als 3200 Jahre.

Hesiod, der nach Herodot's Meinung ums Jahr 880 vor Chr. lebte, spricht in seinem Werke Werke und Tage von den Plejaden, Arktur, Orion und Sirius.

In dieser Anführung liegt für uns das älteste authentische Denkmal der Gestirne an der griechischen Sphäre, und derjenigen Sterne, die man auf derselben durch besondere Namen ausgezeichnet hat. Ein bestimmtes Datum ist aber selbst hierdurch nur für vier von jenen Sternbildern gewonnen.

Ich sage für vier, nämlich diejenigen allein, welche von Hesiod angeführt werden; denn es ist ausgemacht, daß nicht alle Sternbilder gleichzeitig eingeführt wurden. Das Sternbild der Waage z. B. scheint erst zu Augustus Zeiten auf Kosten der Scheeren des Skorpions geschaffen zu sein[62]): der Skorpion hatte bis dahin einen ungemein großen Raum eingenommen. So ist auch das Kleine Pferd eine Schöpfung Hipparch's.

Homer bestärkt mich in der soeben ausgesprochenen Meinung, daß einigen der hauptsächlichsten Sternbilder ein zu geringes Alter beigelegt wird. An der Stelle, wo der unsterbliche Sänger das Schild des Achilles beschreibt, erwähnt er der Plejaden, der Hyaden, des Orion und des Bären[63]) oder des Himmelswagen, „und der allein niemals in Okeanos Bad sich hinabtaucht." Wären die Bilder des Kleinen Bären und des Drachen in jenen alten Zeiten noch nicht vor-

handen gewesen, wie hätte Homer sagen können, daß der Große Bär allein nicht in das Bad des Oceans tauche (nicht untergehe)?

Noch ärmer als die Iliade ist die Odyssee an astronomischen Stellen.

Im fünften Gesange dieses Gedichtes findet man jedoch[64]), daß Ulysses sein Schiff nach der Beobachtung der Plejaden und des Bootes lenkte.

Eudorus aus Cnidos, der im Jahre 121 vor Chr. geboren, schon im Alter von dreiundfunfzig Jahren starb, hatte unter dem Titel Enoptron, d. h. Spiegel, eine Art Bild vom Himmel verfaßt, in welchem die Gestirne auf einfache, anspruchslose Weise zum Nutzen des Volks beschrieben waren.

In dem Spiegel des Eudorus und in einer andern, gleichfalls verlorenen Schrift desselben Astronomen, Himmelserscheinungen benannt, fand Aratus, ums Jahr 270 vor unserer Zeitrechnung, den Stoff zu seinem Gedichte, das uns unter dem Titel Himmelserscheinungen*) erhalten worden ist[65]).

Der Dichter Aratus, der selbst wohl wenig beobachtete, trifft nicht immer den Sinn der Stellen, die ihm zu Führern dienten; Hipparch, der größte Astronom des Alterthums, hat die Fehler der „Himmelserscheinungen" in einem Commentar zu diesem Gedichte verbessert. Hipparch's Commentar enthält mehrere wörtliche Auszüge aus den beiden Schriften des Eudorus, und dadurch gewinnen die Arbeiten des Beobachters aus Cnidos eine vollkommene Glaubwürdigkeit.

Unerwähnt darf es nicht bleiben, daß wenn man den Griechen die Erfindung sämmtlicher auf uns gekommenen Sternbilder zuschreibt, der Ursprung derselben in denjenigen mythologischen Ereignissen gesucht werden müßte, welche am wenigsten bekannt und berühmt sind; dies gilt z. B. für den Schwan und für den Knieenden oder Herkules.

In Betreff der dem Aequator benachbarten Sternbilder, welche die Bilder des Thierkreises genannt werden, hat man sich ziemlich allge-

*) Dies Gedicht des Aratus stand bei den Alten in so hohem Ansehen, daß Cicero, Cäsar Germanicus und Ovid Uebersetzungen davon gaben.

mein dahin gewinigt, dieſelben als Abbildungen der zwölf ägyptiſchen Gottheiten zu betrachten, welche den zwölf Monaten im Jahre vorſtanden. So war der Widder dem Jupiter Ammon geweiht; der Stier ſtellte den Gott oder den Stier Apis vor; den beiden untrennbaren Gottheiten Horus und Harpokrates entſprachen die Zwillinge; der Krebs war dem Gotte Anubis geweiht; Waage und Skorpion dem Typhon, der Schütze dem Herkules, der Steinbock dem Mendes, die Fiſche dem Nephtis; der Waſſermann heiligte den Gebrauch, nach welchem man im Monat Tybi oder Januar einen Waſſerkrug am Meeresſtrande füllte[66]).

Aus einigen Stellen der heiligen Schrift laſſen ſich über das Alter der Sternbilder folgende Schlüſſe herleiten:

Das Buch Hiob (gleichviel ob es von Hiob ſelbſt, dem Zeitgenoſſen der Patriarchen, oder von Moſes*) herrührt), reicht wenigſtens bis zu Moſes Tode zurück, d. h. bis zum Jahre 1451 vor unſerer Zeitrechnung. Im Buche Hiob kommen die Namen des Orion, der Plejaden, der Hyaden vor[67]); hiernach hätten dieſe Bezeichnungen alſo ein Alter von etwa dreitauſend und dreihundert Jahren; man darf jedoch nicht überſehen, daß die Septuaginta verhältnißmäßig moderne Namen an die Stelle anderer ſetzte, welche ſie mit dieſen für gleichbedeutend hielt. Das Buch Hiob beweiſt zwar unbeſtreitbar, daß man in Arabien ums Jahr 1451 ſchon Sternbilder entworfen und benannt hatte, aber man iſt keineswegs berechtigt daraus zu folgern, daß die damals geltenden Namen ſchon die der griechiſchen Bilder waren, wie ſie heutzutage gebräuchlich ſind.

Eine Art Syſtem von chineſiſchen Sternbildern haben uns ſehr alte Schriftwerke der Literatur des himmliſchen Reiches kennen gelehrt; ähnliche Gruppirungen der Sterne, doch von abweichender Geſtalt, haben die Inder, die Chaldäer und die Aegypter beſeſſen. Die Chineſen ſcheinen ihren Sternbildern nicht die Geſtalten derjenigen Gegenſtände zu geben, deren Namen die einzelnen Gruppen tragen; ſie

*) Moſes war im Jahre 1571 vor Chr. geboren, und ſtarb hundertundzwanzig Jahre danach, d. h. im Jahre 1451.

beſchränken ſich vielmehr darauf, durch gerade Linien die auf dem äußern Umfange jedes Sternbildes belegenen Sterne zuſammenzuziehen [68]).

Elftes Kapitel.

Ueber die Verſuche, die man gemacht hat, neue Sternbilder an Stelle derer der griechiſchen Sphäre einzuführen.

Schon im achten Jahrhundert machte Beda den Verſuch, den nach ihm einige Theologen und Philoſophen wiederholt haben, die olympiſchen Götter vom Sternhimmel zu verdrängen. So ſchlugen ſie vor, wenn nicht die Umriſſe, doch die Namen der Thierkreisbilder abzuändern. Es gibt Kalender, ſagt ein berühmter Hiſtoriker (Daunou), in denen St. Petrus die Stelle des Widders einnimmt, St. Andreas die des Stiers u. ſ. w.; in andern, neueren Urſprungs, findet man ſtatt der mythologiſchen Namen David, Salomo, die Magier, mit einem Worte Erinnerungen an das Alte und Neue Teſtament [69]). Doch dergleichen Aenderungen in den Namen der Sternbilder haben keinen Anklang gefunden.

Im ſiebzehnten Jahrhundert machte ein Profeſſor der Univerſität Jena, Weigel, den Vorſchlag, ein Syſtem heraldiſcher Conſtellationen einzuführen. Die zwölf Sternbilder des Thierkreiſes ſollten die Wappenſchilder der zwölf berühmteſten europäiſchen Häuſer repräſentiren [70]); aber der ganze Einfall, der mehr aus ſchamloſer Schmeichelei hervorging, als er ſich auf wiſſenſchaftliches Bedürfniß gründete, wurde einſtimmig verworfen.

Deutſche Zeitſchriften brachten vor einigen Jahren einen Aufſatz des berühmten Olbers, betitelt „Reform der Sternbilder und Reviſion der Namen der Sterne“. Obgleich mir unbekannt iſt, ob die Ueberſetzung, die mir vorgelegen hat, verſtümmelt war, ſo ſcheint mir dennoch ausgemacht, daß dieſer Aufſatz eines klaren und beſtimmten Abſchluſſes ermangelt [71]).

Im Jahre 1841 hat der jüngere Herſchel in den Memoiren der königlichen aſtronomiſchen Geſellſchaft zu London eine Abhandlung

unter folgendem Titel veröffentlicht: „Ueber die Vortheile einer Reviſion und neuen Anordnung der Sternbilder, mit beſonderer Berückſichtigung der am Südhimmel befindlichen, und über die dabei zu befolgenden Grundſätze.“

Der berühmte Verfaſſer hat in dieſer Abhandlung, nach einer wohlbegründeten Kritik der Eintheilung des Himmels und Aufzählung der Uebelſtände, welche dieſelbe hervorruft, die Vortheile nachgewieſen, welche eine Eintheilung des Sternhimmels in Vierecke durch Meridiane und Parallelkreiſe herbeiführen würde. Hierauf gibt er Vorſchriften, welche man bei Wahl der Benennung dieſer neuen Sternbilder beachten müßte. Doch es würde überflüſſig ſein dieſe Betrachtungen weiter zu verfolgen, denn Niemand ſcheint geneigt das neue Syſtem anzunehmen, und John Herſchel ſelbſt betrachtet es, wenigſtens für den Augenblick, als unmöglich, mit eingewurzelten, faſt viertauſendjährigen Gewohnheiten zu brechen [72]).

Anmerkungen der deutſchen Ausgabe.

Zum achten Buch.

1. S. 261. Vergl. Anm. 2 zum 7. Buch. Römer ſtarb zu Copenhagen am 19. Sept. 1710, im Alter von 66 Jahren.

2. S. 264. Ueber den eigentlichen Urſprung dieſes älteſten Sternkatalogs iſt man nur durch die irrige Präceſſion, welche Ptolemäus für die Zwiſchenzeit von 128 vor Chr. bis zu 137 nach Chr. anwandte, belehrt worden. Ptolemäus ſelbſt, der das Verzeichniß der Längen und Breiten im 8. Buche des Almageſt mittheilt, läßt zwar darüber in Ungewißheit; indeſſen iſt auch durch die neueſten Unterſuchungen Biot's über den Urſprung des Catalogs die Annahme der früheren Aſtronomen vollſtändig beſtätigt worden. Außer Bailly, Lalande § 705 und Biot vergl. Kosmos III, S. 194 Anm. 11. Den Ptolemäiſchen Katalog findet man überſetzt und mit den Flamſteed'ſchen Poſitionen verglichen in Delambre Histoire de l'Astr. anc. II. S. 265—284.

3. S. 264. Kosmos Bd. III. S. 150. Dieſer Katalog iſt nur ein Theil des größeren aſtronomiſchen Werks, das handſchriftlich zu Oxford aufbewahrt wird.

4. S. 264. Der Katalog des Mohammed Tizini iſt nicht um 300 Nummern reicher, ſondern enthält überhaupt nur 300 Sternpoſitionen.

5. S. 264. Thomas Hyde, Tabulae longitudinis et latitudinis stellarum fixarum ex observationibus Ulugbeighi Tamerlanis M. nepotis cet. Oxon. 1665. 4.

6. S. 264. Den bei Weitem größten Theil der von ihm beobachteten und berechneten Sternörter (777) hat Tycho selbst herausgegeben in den kurz nach seinem Tode erschienenen Astronomiae instauratae Progymnasmata, Prag 1602, 1610. Keppler hatte in den Rudolphinischen Tafeln nur noch die Früchte einer Nachlese aus seines Lehrers Manuscripten hinzuzufügen.

7. S. 264. Das Verzeichniß, welches der Landgraf mit Beihülfe des Bernburger Christoph Rothmann und des Schweizer Justus Byrgius für d. J. 1593 aufstellte, findet man in Flamsteed's Hist. Coel. Britan. und an einigen andern Orten. Ueber die alte cassseler Sternwarte, die erste größere in Europa, siehe Weidleri Hist. Astr. S. 373 u. f.

8. S. 264. Johann Hevel (1611 — 1687) im Firmamentum Sobieskianum seu Uranogr. Danzig 1690, und im Prodromus Astron. Aus eigenen Beobachtungen hatte er etwa 600 Sterne bestimmt; die übrigen sind ältere. Vergl. Bailly, Hist. de l'Astr. mod. II., livr. 18 §. 7. Neu und berichtigt hat Bailly den Hevelschen Katalog herausgegeben im XIII. Bde. der Mem. of the Roy. Astr. Soc. 1842.

9. S. 265. Der Sternkatalog Edm. Halley's erschien zuerst 1670: Catalogus Stellarum Austral. seu suppl. Catal. Tychon. cet. Derselbe ist in Frankreich, Deutschland und England seitdem häufig gedruckt worden.

10. S. 265. Lacaille's Beobachtungen, die Maraldi 1763 publicirte, (Coelum australe stelliferum), sind vollständig reducirt auf 1750 in Henderson's A new Catalogue of 9766 southern Stars cet. London 1847. Ueberdies hinterließ Lacaille einen Katalog von 515 Zodiakalsternen, für welchen sein Schüler Bailly die Positionen berechnete.

11. S. 265. Zuerst von Lichtenberg herausgegeben (1775, Göttingen) in Tob. Mayeri opera inedita Vol. I (unic.); dann auf 1800 reducirt in Bode's Jahrbuch für 1790 und in der Conn. des tems. Dies Verzeichniß enthält nur Zodiakalsterne; eine neue, wesentlich berichtigte Ausgabe desselben verdankt man Francis Baily, Mem. of the Roy. Astr. Soc. IV. 1831.

12. S. 265. Flamsteed's berühmter Katalog erschien zuerst im J. 1712, und ist, da er lange Zeit die Hauptquelle für Sternörter blieb, häufig gedruckt worden. Die vorzüglichste Bearbeitung der Originalbeobachtungen findet man in Baily's großem Werke: Account of the R. John Flamsteed. London 1835 (ein Suppl. erschien 1837). — Die im Texte erwähnte zweite Aufl. der Hist. Coel. Brit. erschien 1725.

13. S. 265. Fundamenta Astronomiae pro anno 1755. Königsb. 1818.

14. S. 265. Pond, A Catalogue of 1112 Stars. London 1833.

15. S. 265. Den neuen Zodiakalkatalog von Zach für d. J. 1800 findet man im 1. Bde. seiner Tabulae Speciales Aberrat. et Natat. Gotha 1806. Das Sternverzeichniß in der 2. Aufl. der Sonnentafeln (Fund. motuum Solis nov. et correct. quibus acced. fix. catal. 1792) hat bei den Astronomen wenig Beifall gefunden, da das Detail der zu Grunde liegenden Beobachtungen durchaus unbekannt geblieben ist.

16. S. 265. Praecipuarum stellarum inerrantium positiones mediae cet. Palermo 1814. Die ältere Ausg. war von 1803.

17. S. 265. Brisbane, A Catalogue of 7385 Stars chiefly in the South. Hemisph. London 1835; hierher gehört Rümker's Preliminary Catal. of fixed Stars in the southern hemisph. Hamb. 1832. — Das Erscheinen des großen und umfassenden Katalogs von Rümker wird vorbereitet.

18. S. 265. Von Airy sind seit 1840 mehrfache Sternverzeichnisse erschienen, hergeleitet aus den cambridger und greenwicher Beobachtungen.

19. S. 265. Mittlere Oerter von 12000 Fixsternen für den Anfang von 1836, ein aus Veranlassung der letzten Erscheinung des Halley'schen Cometen unternommenes, und in Anhängen bis auf die neueste Zeit fortgeführtes Werk.

20. S. 265. DLX stellarum fixarum positiones mediae erschienen im Jahr 1835.

21. S. 265. In fünf Bänden der Beobachtungen auf der Sternwarte der ostindischen Compagnie zu Madras: Result of Astron. Observ. made at Madras 1832—1839.

22. S. 265. The Catalogue of Stars of the Brit. Association for the Advancement of Science, nach Baily's Tode von Stratford herausgegeben, sollte das Ergebniß aus allen zuverlässigen Beobachtungen zusammenfassen.

23. S. 266. A Catalogue of those Stars in the Hist. céleste française cet. London 1847, enthält die Reduktion auf d. J. 1800 derjenigen Sterne, für welche Schumacher Hülfstafeln gegeben hatte.

24. S. 266. Johann Bayer's Uranometria ist in vielen Ausgaben erschienen; Lalande in der Bibliographie S. 139 kennt sie nicht alle. Ueber den heutigen Werth dieser Karten, nach Argelander's Untersuchungen vergl. Kosmos Bd. III. S 105 und 254.

25 S. 266. Aus Flamsteedii Atlas coelestis (London in Fol.) sind die Sammlungen von Himmelskarten hervorgegangen, die Fortin (1776, 1795) und Bode (Vorstellung der Gestirne 1782) publicirt haben.

26. S. 266. Veranlaßt durch die Entdeckung der kleinen Planeten zu Anfang dieses Jahrhunderts; diese noch heutzutage vorzüglichen Karten, in denen zuerst die Zeichnungen der Sternbilder gänzlich wegfielen, gründen sich auf die hist. Céleste und auf eigene Beobachtungen Harding's.

27. S. 266. In den Bdn. VII. bis XVII. der Astron. Beobachtungen in Königsberg, 75011 einzelne Beobachtungen enthaltend. Argelander's Fortsetzungen dieser Zonen in den Bdn. I. und II. der Astron. Beobachtungen auf der Sternwarte zu Bonn (1846, 1852) umfassen außer den im Texte erwähnten Beobachtungen der nördlichen Sterne, auch den Theil des Himmels zwischen 15° und 31° südlicher Declination. Im Ganzen enthalten die Bonner Zonen 49674 einzelne Beobachtungen.

28. S. 266. Positiones mediae Stellarum fixarum in Zonis Regiomontanis,

Petersb. 1846. Die genauere Zahl der innerhalb des Gürtels, den Weiſſe's Reduktion bisher umfaßt, (15° ſüdl. bis 15° nördl. Decl.) befindlichen Sterne iſt 31085; vergl. Struve's Vorrede S. XIII.

29. S. 266. Kosmos Bd. III. S. 153 und 156.

30. S. 267. Goguet, De l'Origine des lois, des arts et des sciences chez anciens peuples, Paris 1758. La Condamine hatte dies auf ſeiner Reiſe erfahren; ſiehe ſeinen Bericht in den Mém. de l'Acad. des sciences. 1745. S. 447.

31. S. 268. Die Fabel des Alterthums über die γαλαξια erzählt Manilius im erſten Buche.

32. S. 268. Ueber den Namen Sirius und dieſes Sternes große hiſtoriſche Bedeutung ſiehe die ausführliche Unterſuchung bei Humboldt, Kosmos Bd. III. S. 171, 206—208.

33. S. 268. Etymologiſch richtige Schreibarten und die Bedeutungen dieſes und der folgenden Sternnamen kann man nachſehen in den beſondern Unterſuchungen von Ancillon in Bode's Jahrbuch für 1788, S. 130—138; Kemmerich a. a. O.; Buttmann im Jahrbuche für 1822, S. 91—114; ſowie Ideler Unterſuchungen über den Urſprung und die Bedeutung der Sternnamen.

34. S. 269. Tramontana bedeutet in Italien den Nordpol oder den Polarſtern ebenſo wie den Nordwind. Bekannt und leicht verſtändlich iſt die Redensart: die Tramontana verlieren (perder la tramontana).

35. S. 270. De fide Uranometriae Bayeri diss. 1842. — Vergl Anm. 24.

36. S. 273. Aus Antinous und dem Haupthaar der Berenice hatte zwar Ptolemäus keine eigentlichen Sternbilder geformt, indeſſen waren dieſelben den Alten dennoch vollkommen bekannt, und Ptolemäus ſpricht von beiden als am Himmel vorhanden; vergl. Bailly, Astr. mod. I. S. 199 u. 558; Lalande Astron. §. 630, 643. Tycho hat dieſe Bilder denen der alten griechiſchen Sphäre nur zuerſt wirklich beigezählt.

37. S. 273. Lalande, Astronomie, 3. édit. §. 701.

38. S. 273. Dies Verzeichniß der Hevel'ſchen Sternbilder bedarf mannigfacher Berichtigungen. Das Kameelopard iſt ſchon von Bartſch eingeführt, zur Erinnerung an das Kameel der Rebekka (S. 81 der Ausg. des Planisphaerium stellatum von 1662); daſſelbe gilt vom Monoceros (Unicornu); dem Jordan und Tigris hat Hevel nur andere Namen beigelegt. Dagegen iſt das von Hevel an den Himmel verſetzte, und von den Neueren beibehaltene Bild Berg Mänalus von Arago dem Flamſteed zugeſchrieben worden.

39. S. 274. Royer's Karten — Cartes du Ciel réduites en quatre tables cet. 1679 Paris — mit einem Verzeichniſſe von 1806 Sternen für d. J. 1700 vom Pater Anthelme, enthalten keineswegs zuerſt die ſechs von Arago ihrem Verfaſſer zugeſchriebenen Bilder. Mit Ausnahme der Lilie, welche Royer an die Stelle der Fliege ſetzte, ſind die ſämmtlichen erwähnten Bilder ſchon 50 Jahre früher von Bartſch, dem Schwiegerſohne Keppler's, eingeführt worden. S. Bartschii Usus astronomicus planisphaerii stellati cet. 1624; (Ausg. von 1662 S. 95—101).

40. S. 274. Am 3. Sept. 1651, nach der Schlacht bei Worceſter; die Einführung des Bildes fällt ins Jahr 1677.

41. S. 275. Lacaille hat den Tafelberg am Himmel unter die Große Wolke geſetzt, wohl auf dieſe meteorologiſche Thatſache hindeutend. Mém. de l'Acad. des sciences. 1752. S. 589.

42. S. 275. Das Rennthier am Nordhimmel ſollte ein Erinnerungszeichen ſein an die Gradmeſſung unterm Polarkreiſe, bei welcher Lemonnier thätigen Antheil genommen hatte; der Einſiedlervogel (turdus solitarius) in der Nähe des Aequators, 1776 eingeführt, ſollte das Andenken an La Condamine's Gradmeſſung unterhalb des Aequators bewahren.

43. S. 275. Messier, der Erntehüter (1774) in einer an kleinen, namenloſen Sternen reichen Gegend, ſollte zugleich die ſpäteſten Zeiten an den eifrigen und glücklichen Kometenentdecker Meſſier erinnern; Lalande, Astr. §. 699. — Ueber die gleichfalls von Lalande an den Himmel verſetzte Katze (1799) ſiehe Bode's Jahrbuch 1802, S. 256.

44. S. 275. Cahiers des observ. astron. faites à l'Observ. Royal de Vilna en 1773, Wilna 1777. Dies Bild wurde von den europäiſchen Akademien förmlich anerkannt.

45. S. 275. Ephemerides Vindobonenses pro anno 1790 S. 305 u. f.; Bode's Jahrbuch für 1800, S. 209.

46. S. 276. Siehe den Aufſatz „Friedrichs Sternendenkmal" in Bode's Jahrbuch für 1790, S. 231. Die Einführung dieſes Bildes fand Zuſtimmung bei den Akademien zu Paris, Petersburg, Copenhagen, bei der Royal Society, und ward öffentlich anerkannt von allen angeſehenen Aſtronomen der damaligen Zeit. Man ſieht nicht was eine ſpätere Zeit berechtigen könnte, einen ſolchen Beſchluß für nichtig zu erklären.

47. S. 276. Das brandenburgiſche Scepter iſt älteren Urſprungs; es wurde nicht von Bode, ſondern ſchon von Gottfried Kirch, dem erſten berliner Aſtronomen, im Jahre 1688 eingeführt.

48. S. 276. Bode's Jahrbuch für 1800, S. 209.

49. S. 276. Gleichfalls nicht von Bode, ſondern von Lalande (1795) an den Himmel geſetzt, zum Andenken an das Inſtrument, mit welchem die Beobachtungen zur Histoire Cél. gemacht worden waren. Bode's Jahrbuch für 1798, S. 242.

50. S. 281. Im Zeichen des Skorpions erkennt man gewöhnlich die Füße und den Stachel des Thieres; Bailly, Hist. de l'Astr. anc. S. 514.

51. S. 281. A. a. O. bedeutet das Zeichen des Steinbocks, der unwahrſcheinlichen Annahme Arago's entgegen, den verſchlungenen Schweif dieſes Thieres.

52. S. 283. Hist. Natur. Lib. II, c. 26.

53. S. 283. Zur Vergleichung der Zahlen im Texte mag hier für dieſelben Bilder die Anzahl derjenigen Sterne folgen, welche Argelander (in der Neuen Uranometrie) und Heis als mit bloßen Augen wahrnehmbar bezeichnen:

	Argelander.	Heis.
Kleiner Bär	27	54
Großer Bär	138	203
Bootes	85	120
Nördliche Krone	26	30
Herkules	155	206
Leyer	48	63
Widder	50	76
Stier	121	174

S. Heis, de magnitudine relativa numeroque accur. stellar. quae solis oculis conspiciuntur fixarum. Münster 1852, S. 15.

54. S. 283. Ptolemäus' Verzeichniß hat im „knieenden Manne" (Herkules) 30 Sterne.

55. S. 285. Dies sind die Zahlen des Hipparchischen Katalogs; Kosmos, Bd. III, S. 149.

56. S. 287. Auch die einander gegenüberstehenden Zeichen hat man vor Alters in zwei Hexameter gebracht:

Est Aries Librae, Tauro Nepa, Bina Sagittae,
Semicaper Cancro, Dea Piscibus, Unda Leoni.

Sacrobosco erreichte diese Absicht noch kürzer durch den folgenden Vers:

Est Lib. Ari. Scor. Tau Sa Gemi. Capr. Cancr. A. Le. Pis. Vir.

Vergl. Kästner, Astron. Abhandl. 1. Samml. 1772, S. 476.

57. S. 289. Ueber die Bedeutung der Eigennamen der sieben Hauptsterne des Himmelswagens nach dem persischen Astronomen Kazwini vergl. Bode's Jahrbuch für 1808, S. 106 u. f.

58. S. 289. Der arabische Name dieses Sternchens ist Suha; so ist der Stern auch auf dem alten arabischen Globus im mathematischen Salon zu Dresden bezeichnet. A. a. O. S. 107. Wegen des Textes vergl. Kosmos III. S. 65.

59. S. 292. An dieser Stelle und im Nächstfolgenden hat man, um den Sinn herzustellen, vom französischen Texte abweichen müssen.

60. S. 292. Kosmos III, S. 173 und 209.

61. S. 293. Clemens Alexandrinus Stromat. Lib. I, 15.

62. S. 293. Eine Untersuchung über alle das Sternbild der Waage betreffenden Stellen des Alterthums in Humboldt's Vue des Cordillères et Monumens cet. II, S. 380; und nach Letronne im Kosmos III, S. 161 und 198.

63. S. 293. Iliade Σ v. 486—490.

64. S. 294. Odyssee E v. 271.

65. S. 294. Delambre, Hist. de l'Astr. anc. I, S. 107 u. f.

66. S. 295. Die Namen der altägyptischen Gottheiten, denen die Thierkreisbilder zugetheilt waren, hat Kircher zuerst aus den hieroglyphischen Inschriften entziffert, im 2. Bde. seines Oedipus Aegypt.

67. S. 295. Hiob 9, 9; 38, 31. — Ueber die eigentliche Bedeutung der vom griechiſchen Ueberſetzer mißverſtandenen Texteswörte ſiehe Weidleri, Hist. Astron. S. 24; vergl. auch Kosmos III, S. 209, Anm. 62.

68. S. 296. Von den chineſiſchen Sternbildern findet man Nachricht in Pingré, Cométographie T. I. S. 570.

69. S. 296. Vor Allem hätte hier Erwähnung finden müſſen, das große Werk von Jul. Schiller (und Bayer): Coelum stellatum Christianum, Wien 1627. An die Stelle der zwölf Zeichen des Thierkreiſes treten die Apoſtel; der nördliche Himmel wird dem neuen, der ſüdliche dem alten Teſtamente eingeräumt; ebenſo ſollten Sonne und Planeten ihre Namen ändern. Eine Verbindung der mythologiſchen Namen mit chriſtlichen Lehren verſuchten Bartſch und ſpäterhin Phil. Cäſius. — Daß ähnliche Beſtrebungen ſchon bei Beda Venerabilis vorkommen, iſt nicht begründet: die Notiz im Texte iſt der großen Encyklopädie (Art. Constellation) entnommen.

70. S. 296. Erhard Weigel (1625—1699) ließ große künſtliche Globen verfertigen, welche theils die alten Sternbilder, theils den neuen Wappenhimmel darſtellten; vergl. Weidleri Hist. S. 548, 549.

71. S. 296. Die nach Olbers' Tode gedruckte Abhandlung über die neueren Sternbilder findet ſich in Schumacher's Jahrbuch für 1840, S. 238, ſowie auch in Monthly Notices of the Roy. Astr. Soc. 1841. Den dort vorgeſchlagenen Wegfall gewiſſer Sternbilder haben Baily und Argelander in ihren Katalogen und Karten bereits in Ausführung gebracht. Vergl. auch Mädler, Aſtron. 4. Aufl. S. 384, 385.

72. S. 297. Memoirs of the Roy. Astr. Soc. XII S. 201; Kosmos, Bd. III. S. 199, Anm. 31. Ueber die vorgeſchlagene Verbeſſerung der Abgränzungen und Benennungen am Südhimmel hat Herſchel ſpäterhin die Erklärung gegeben, daß der Gedanke an eine vollſtändige Ummodelung nach reiflicher Ueberlegung, und nach Einholung des Rathes der ausgezeichnetſten Aſtronomen des Continents, vor der Hand aufzugeben ſei. Brit. Ass. Catal. 1845, Vorr. S. 61. — In den Outlines of Astronomy §. 301 äußert Sir John neuerdings, es ſcheine, man habe den Sternbildern Namen und Umriß nur in der Abſicht gegeben, ſo viel Uebelſtände und Verwirrung als möglich hervorzurufen.

Neuntes Buch.

Von den einfachen Sternen.

Erstes Kapitel.

Eintheilung der Sterne in Klassen, je nach dem Grade ihrer Helligkeit.

Die am Himmel zerstreuten Sterne sind von den alten Astronomen nur willkürlich und ohne Anspruch auf Genauigkeit in Größenklassen eingetheilt worden, und diese Unbestimmtheit hat sich, nach dem natürlichen Laufe der Dinge, auf die späteren Sternverzeichnisse übertragen. Die gegenwärtig das größte Ansehen genießenden Himmelskarten weisen im Ganzen an beiden Halbkugeln 17 Sterne erster Größe auf. Es sind die folgenden:

Sirius oder α im Großen Hunde,
η im Schiffe (veränderlich),
Canopus oder α im Schiffe,
α des Centaur,
Arktur oder α im Bootes,
Rigel oder β im Orion,
Capella oder α im Fuhrmann,
Wega oder α in der Leyer,
Procyon oder α im Kleinen Hunde,
Betelgeuze oder α im Orion,
Acharnar oder α im Eridanus,
Aldebaran oder α im Stiere,
β im Centaur,
α im Kreuz,
Antares oder α im Scorpion,
Atair oder α im Adler,
Die Kornähre (Spica), α in der Jungfrau.

Warum man gerade 17 Sterne erster Größe angenommen hat, warum nicht 16 oder 15, warum nicht 18 oder 19, dafür läßt sich kein Grund angeben[1]). Die 17 Sterne der ersten Größe haben bei Weitem nicht alle denselben Glanz; der letzte der ersten Größe und der

erſte der zweiten, Fomalhaut oder α im ſüdlichen Fiſche ſind an Helligkeit nicht ſo ſehr verſchieden, daß man jenen nicht hätte in die unmittelbar niedere Klaſſe verſetzen können, und dieſen gemeinſchaftlich mit β im Kreuze, Pollux oder α der Zwillinge und Regulus oder α des Löwen zur unmittelbar vorangehenden Klaſſe rechnen. Daſſelbe gilt in noch höherem Grade von den zahlreichen Sternen niederer Ordnungen. Nimmt man Zwiſchengrößen an, d. h. errichtet man Stufen zwiſchen dieſen ſchlecht begrenzten Klaſſen, ſo vergrößert man nur die Unbeſtimmtheit dieſer wenig präciſen Klaſſification, die nur durch photometriſche Meſſungen einen feſten Grund gewinnen kann.

Zur ſechſten Größe rechneten die Alten die ſchwächſten noch dem bloßen Auge erkennbaren Sterne; gegenwärtig zählt man dagegen mehrere, ohne Anwendung von Inſtrumenten ſichtbare Sterne zur ſiebenten Klaſſe. Die ſiebente Größe iſt alſo in der That die Grenzſcheide zwiſchen den mit bloßem Auge ſichtbaren und den teleſkopiſchen Sternen.

Nach Argelander enthält die nördliche Halbkugel:

9	Sterne	erſter Größe,
34	„	zweiter „
96	„	dritter „
214	„	vierter „
550	„	fünfter „
1439	„	ſechſter „

Die Summe beträgt 2342.

Angenommen die ſüdliche Halbkugel wäre ebenſo reich als die nördliche, ſo hätten wir eine Geſammtſumme von 4684 Sternen, nämlich[2]):

18	Sterne	erſter Größe,
68	„	zweiter „
192	„	dritter „
428	„	vierter „
1100	„	fünfter „
2878	„	ſechſter „

Dieſelbe Klaſſificirung hat man für die teleſkopiſchen Sterne fortgeführt, von der ſiebenten Größe angefangen bis zu den kleinſten hinab.

Zweites Kapitel.

Die Anzahl der mit bloßem Auge sichtbaren Sterne ist beträchtlich geringer, als man vermuthen möchte.

Argelander hat in seiner Uranometrie ein Verzeichniß von 3256 mit bloßem Auge sichtbaren Sternen gegeben, die sämmtlich zwischen dem Nordpole und 36° südlicher Declination, also etwa auf acht Zehnteln des Himmelsgewölbes befindlich sind. Wenn man mithin zu dieser Zahl, dem angegebenen Verhältnisse zufolge, für den Raum der zwei übrigen Zehntel, d. h. für die dem Südpole benachbarte Zone, 844 Sterne hinzurechnet, erhält man 4100 als Gesammtzahl der am ganzen Himmel mit bloßem Auge sichtbaren Sterne.

Diese Zahl gilt für einen Beobachter mit mittlerem Auge, für welchen die Sterne sechster Größe an der Grenze der Sichtbarkeit stehen. Man muß diese Zahl noch um etwa 2000 vermehren, sobald man annimmt der Beobachter könne einen großen Theil der Sterne siebenter Größe erkennen, und erhält damit eine Totalsumme von 6000 Sternen [3]).

Dies Ergebniß ist jedenfalls geringer als die Schätzung, welche Nichtastronomen und selbst Astronomen machen.

Woher dieser Irrthum rührt, wüßte ich nicht anzugeben, bemerke jedoch, daß diese Frage geringes Interesse bietet.

Drittes Kapitel.

Bestimmung der Anzahl von Sternen aller Größen, die mit unsern heutigen Instrumenten wahrnehmbar sind.

Nach Harding's Karten hatte Struve gefunden, daß die Zahl der Sterne jeder Klasse, bis zur sechsten Klasse einschließlich, ungefähr das Dreifache beträgt von der Anzahl der Sterne in der vorhergehenden Klasse. Nach diesem Gesetze wollen wir die Anzahl derjenigen Sterne berechnen, die in unsern stärksten Fernröhren sichtbar sind, unter

der Vorausſetzung daß die vierzehnte Klaſſe die äußerſte Grenze der Kraft dieſer Inſtrumente bezeichne. Für das große pulkowaer Fernrohr (von 14 Zoll Oeffnung) ſind, nach Struve's Schätzung, die letzten erkennbaren Sterne von der dreizehnten Größe.

Die Geſammtſumme der in den vollkommenſten Inſtrumenten ſichtbaren Sterne wird alſo die Summe folgender geometriſchen Progreſſion ſein:

$18; 18\times3; 18\times3^2; 18\times3^3; 18\times3^4; \ldots 18\times3^{12}; 18\times3^{13}$. Das letzte Glied 18×3^{13} gibt (ohne Rückſicht auf Hunderter und Einer) 28697000, und dies iſt die Anzahl der Sterne von der vierzehnten Größe.

Das Glied 18×3^{12} gibt 9566000.

Dies iſt die Anzahl der Sterne dreizehnter Größe.

Die Summe der vierzehn Glieder der Reihe findet man 43047000.

Dies iſt die Anzahl aller Sterne von der erſten bis zur vierzehnten Größe.

Die Summe der zwölf erſten Glieder der Reihe beträgt 14349000.

Soviel Sterne ſind von der erſten bis zur dreizehnten Größe einſchließlich vorhanden.

Wenn die obigen Angaben irrig ſind, ſo fehlen ſie wahrſcheinlich in dem Sinne, daß ſie die Zahlen zu klein geben; die wirkliche Anzahl der Sterne möchte größer ſein. Geht man nämlich von der ſechſten Größe aus, ſo gibt das Geſetz für die nördliche Halbkugel ungefähr 7000 Sterne für die ſiebente Größenklaſſe; Struve hat deren aber 14000 gezählt. Der Factor 3 ſcheint hiernach für die niederen Klaſſen zu klein zu ſein.

Mittelſt der Methode der Herſchel'ſchen Aichungen, von denen wir in den folgenden Kapiteln handeln werden, und ohne Hinzuziehung irgend einer Hypotheſe, hat Struve[4]) daraus die Anzahl der in dem zwanzigfüßigen Teleſkope Herſchel's ſichtbaren Sterne hergeleitet; er findet dieſelbe 20400000.

Ob die Anzahl der Sterne wohl von Jahr zu Jahr in merklicher Weiſe zunimmt, entweder durch Entſtehen neuer Sterne, oder weil das Licht der entfernteſten ſeit Erſchaffung der Welt noch nicht hinreichende Zeit hatte bis zu uns zu gelangen?

Man wird niemals die vollständige Zahl der am Himmel sichtbaren Sterne aller Größen genau genug kennen, um die Beantwortung dieser Frage durch unmittelbare Beobachtung hoffen zu dürfen; da indessen die in heiteren Nächten auf der Erdoberfläche verbreitete Helligkeit sich mit der Anzahl der Sterne ändern muß, so wird man vielleicht einst, bei einem mehr ausgebildeten photometrischen Verfahren, hierüber etwas Positives ermitteln, besonders wenn man Beobachtungen untereinander vergleichen kann, die viele Jahre entfernt liegen.

Viertes Kapitel.

Helligkeitsverhältnisse der Sterne verschiedener Größe.

Um für die Sterne verschiedener Größe das Verhältniß der Helligkeiten sowohl im Mittel als für die einzelnen Sterne zu bestimmen, hat man verschiedene Verfahren in Anwendung gebracht; aber die Resultate stimmen untereinander nicht so gut überein, als man wünschen könnte. Obgleich diese Verschiedenheit bisweilen überaus groß ist, will ich die Ergebnisse dennoch hier aufführen, indem ich zugleich kürzlich die Methoden angebe, aus denen sie hervorgingen. Ich beabsichtige damit die jüngeren Astronomen und selbst die bloßen Dilettanten auf eine Lücke in der Wissenschaft aufmerksam zu machen, welche neue Untersuchungen erfordert und sehr merkwürdige Folgerungen in Aussicht stellt.

William Herschel versuchte es, bei der Größeneintheilung der verschiedenen Sterngruppen am Himmel Zahlen anzuwenden, nämlich das Verhältniß zu bestimmen, welches zwischen der Helligkeit eines Sternes erster Größe und der Helligkeit eines Sternes zweiter, dritter Größe u. s. w. besteht. Er befolgte dabei folgendes Verfahren[5]):

Zwei siebenfüßige Spiegelteleskope von ganz gleicher Beschaffenheit, die folglich zwei gleich helle Bilder von an sich gleichen Sternen gaben, wurden nebeneinander in der Weise aufgestellt, daß der Beobachter sich in ungefähr einer Zeitsecunde von dem Oculare des einen Fernrohrs an das Ocular des zweiten Fernrohrs begeben konnte.

Durch kreisförmige, aus Pappe geschnittene Oeffnungen von verschiedenen Durchmessern wurde diejenige Lichtmenge, welche in dem einen von beiden Fernröhren das Bild des hellsten der beiden zu vergleichenden Sterne erzeugte, nach und nach verringert, und zwar beliebig und nach bekannten Verhältnissen. Mit dieser Verringerung hielt man ein, sobald das auf diese Weise geschwächte Bild dem ungeschwächten Bilde des zweiten, im andern Fernrohre betrachteten Sternes gleich schien. Niemals ging man mit dieser Verminderung des Lichtes unter ein Viertel hinab, um nicht Oeffnungen anwenden zu müssen, welche infolge ihrer Kleinheit die Dimensionen des Bildes durch Diffraction allzusehr geändert hätten. Handelte es sich um Vergleichung von Sternen, deren einer weniger als den vierten Theil von der Helligkeit des andern hatte, so benutzte man, statt eine directe Vergleichung zu machen, Sterne von mittlerer Helligkeit als Zwischenglieder.

Dies Verfahren ist in zwei wesentlichen Punkten fehlerhaft.

Wenn man das Bild eines Sternes in einem Fernrohre bei verengter Oeffnung betrachtet, so ist es an Größe von demjenigen Bilde verschieden, welches dasselbe Fernrohr bei unveränderter Oeffnung zeigt. Zweitens sieht man die Bilder der beiden Sterne nicht gleichzeitig, und kann sie also nicht mit großer Schärfe gleich machen. Nichtsdestoweniger will ich hier Herschel's hauptsächliche Resultate anführen, weil ein so geübter Beobachter, wie er war, gewiß auch eine mangelhafte Methode zu nutzen verstand.

α in der Andromeda, der Polarstern, γ im Großen Bären, δ der Cassiopeja (sämmtlich Sterne der zweiten Größe), sind genau ein Viertel vom Arctur.

Wenn man also das Licht des Arctur, eines Sternes erster Größe, auf den vierten Theil reducirte, so würde man einen Stern zweiter Größe erhalten.

α in der Andromeda ist vier Mal so hell als μ im Pegasus. Da Arctur seinerseits vier Mal so hell ist als α der Andromeda, so ist er folglich sechszehn Mal so hell als μ im Pegasus.

μ im Pegasus führen die Sternverzeichnisse als vierter Größe auf.

Wenn man das Licht des Sternes erster Größe Arctur auf den sechszehnten Theil herabsetzte, so würde er zu einem Sterne vierter Größe.

Der vierte Theil von μ im Pegasus oder der vierundsechzigste Theil von Arctur ist gleich q im Pegasus, dem die Kataloge die fünfte bis sechste Größe geben.

Arctur's Licht auf seinen vierundsechzigsten Theil herabgesetzt, würde also noch gut mit bloßem Auge wahrnehmbar sein, da die Lichtstärke des Sternes, noch immer dem Sterne q im Pegasus gleich, noch nicht bis zur sechsten Größe herabgesunken wäre.

Als Herschel ferner nicht Arctur, sondern Capella zum Ausgangspunkte nahm (letzterer Stern gehört gleichfalls zur ersten Größenklasse), fand er Folgendes:

β im Stier . . . } 2. Größe, gleich $^1/_4$ von Capella.
β im Fuhrmann . }

ζ im Stier . . . } 4. Größe, gleich $^1/_{16}$ von Capella.
ι im Fuhrmann . }

e im Perseus . . . . } 5. bis 6. Größe, gleich $^1/_{64}$ von Capella.
H in den Zwillingen }

d in den Zwillingen, 6. Größe, gleich $^1/_{100}$ von Capella.

Das Licht der Capella würde hiernach, wenn es auf ein Hundertel herabgesetzt wäre, noch dem bloßen Auge sichtbar bleiben.

Wega in der Leyer gibt genau dieselben Resultate als Capella.

Nimmt man das Licht des Sirius zum Ausgangspunkte, so ergibt sich:

Das Licht der Capella gleich $^4/_9$ oder etwas weniger als die Hälfte vom Lichte des Sirius;

Procyon . . . . . $^1/_3$
β im Stier . . . . . $^1/_9$
ι im Fuhrmann . . . . $^1/_{36}$
H in den Zwillingen . . $^1/_{144}$
g in den Zwillingen . . $^1/_{225}$

Durch eine Art Mittel ergibt sich aus den vorstehenden Resultaten, daß die Sterne erster Größe im Allgemeinen auf $^1/_{144}$ ihres Glanzes herabgesetzt werden könnten, „ohne für das bloße Auge unsichtbar zu werden, d. h. ohne unter die sechste Größe herabzusinken."

Michell [6]) nahm an, daß die Sterne von weißem Lichte die glänzendsten seien, ganz abgesehen von ihrer Größe; ferner daß das Licht

gewiſſer Sterne weißer ſei als das Sonnenlicht; doch hat er die Gründe nicht angegeben, auf welche er dieſe Meinung ſtützte.

Im Bode'ſchen Jahrbuche für 1792 findet man die folgende Notiz von Köhler (Berlin, 1789 S. 233):

„Ich weiß nicht, ob ich Ihnen ſchon etwas von einer Erfindung eines Werkzeugs geſagt habe, das mir ſehr geſchickt ſcheint die Verhältniſſe der Lichtſtärke der Fixſterne zu meſſen. Es beſteht in einer Vorrichtung, die ich am Objective eines 18zölligen Sternrohrs anbringe, um damit die quadratförmige Oeffnung dergeſtalt verkleinern zu können, daß ſie von der Größe, wo die Diagonale des Quadrats 1000 Theile hält und über einen Zoll groß iſt, bis auf Null vermindert werden kann, und dabei nicht nur immer ein Quadrat, ſondern auch deſſen Mittelpunkt unveränderlich auf der Mitte des Objectivs bleibt. Bei der völligen Oeffnung von 1000 Theilen ſehe ich Sterne der 9. bis 10. Größe, und ſo verſchwinden ſie, und die Sterne der höhern Ordnungen nach und nach, je mehr ich dieſes Quadrat verkleinere. Ich verglich am 23. April (1786) mit dieſem Inſtrumente den Arctur mit einigen benachbarten Sternen, und fand hierbei:

	Diagonal-Oeffnung des Quadrats.
Arctur verſchwindet	12 Theile
α Löwe „	29 „
β „ „	39 „
η Bootes „	51 „
Coma Berenices verſchwindet . .	175 „

Sie ſehen, daß es — — ſehr auffallende Unterſchiede gebe, und alſo den Namen eines Photometers verdiene."

Dieſer Schlußbemerkung Köhler's kann man beiſtimmen, ſolange mit dieſem Inſtrumente nur die Reihenfolge der Sterne, ihrer Größe nach, beſtimmt werden ſoll. Wollte man aber aus den vom Diaphragma freigelaſſenen Theilen des Objectivs auf das numeriſche Verhältniß dieſer Größen ſchließen, ſo würde man wahrſcheinlich in grobe Fehler verfallen wegen des Einfluſſes, welchen die Ränder des Diaphragmas ſowohl auf den Gang der Lichtſtrahlen, als auf die Durchmeſſer der Bilder ausüben.

Zur Bestimmung der verhältnißmäßigen Lichtstärken verschiedener Sterne hat man mannigfaltige Mittel ersonnen, um das Licht jedesmal bis auf den Punkt zu schwächen, wo es aufhört einen Eindruck auf unser Auge hervorzubringen; die Abschwächung muß natürlich um so beträchtlicher sein, je heller der Stern ursprünglich ist. Dies kommt, wie man sieht, auf das Köhler'sche Verfahren hinaus, man hat dasselbe aber von den nachgewiesenen Fehlerquellen befreit.

Xavier de Maistre schlug vor, man solle, um die in Rede stehende Abschwächung hervorzubringen, zwei Prismen anwenden, das eine von blauem, das andere von weißem Glase, beide von demselben Brechungswinkel und verkehrt aneinander gesetzt; so daß das Licht beim Durchgange durch das dadurch entstandene Parallelepipedum schließlich keine merkliche prismatische Zerlegung erführe. Die Kante des blauen Prismas war so dünn, daß auch das Licht der kleinsten Sterne hindurchging, während an der dieser Kante gegenüberstehenden Grundfläche das Licht der hellsten Sterne vollkommen erlosch. Ein derartiges Instrument würde indessen viel Uebelstände haben, von denen ich mich begnügen will einen einzigen anzuführen, nämlich daß wenn das Instrument an ein Fernrohr von bestimmter Oeffnung angebracht wird, man nicht hoffen darf die entsprechende Absorption berechnen zu können. Es ist in der That klar; daß wenn man dasselbe vor das Objectiv setzte, diejenigen Strahlen, welche zur Bildung des Bildes beitragen würden, sehr ungleiche Glasdicken zu durchlaufen hätten.

Ich habe einen Apparat zusammensetzen lassen, mit welchem man das polarisirte Bild eines Sternes stufenweise abschwächt, und die jedesmalige Abschwächung nach einem von mir bewiesenen Gesetze genau berechnen kann. Während der langwierigen Untersuchungen, denen ich mich hingab, um die Lösung der Aufgabe, die ich mir gestellt hatte, zu erlangen, haben meine Augen gelitten, und so habe ich Herrn Laugier bitten müssen, meinen Apparat einer entscheidenden Prüfung zu unterziehen. Das Detail meiner Methode wird man in meinen Abhandlungen über Polarisation finden[7]; hier will ich nur die von Herrn Laugier gefundenen Resultate hersetzen.

Aus seinen Beobachtungen ergibt sich folgende Tafel der relativen Helligkeiten der Sterne:

Sirius	1000
α in der Leyer . . .	617
α im Adler	458
Procyon	445
Rigel	439
α in der Jungfrau .	410
α im Orion . . .	311
Aldebaran	220
γ im Orion	199
ε im Orion	88
γ im Adler	80
π im Orion . . .	70
γ im Schwan	56
β im Adler	34
ζ im Schwan	31

Nach John Herschel ist Sirius 324 Mal heller als ein Stern der sechsten Größe.

Steinheil ist bei seinen photometrischen Untersuchungen über die Lichtmenge, mit der die Sterne verschiedener Größenklassen glänzen, zu folgenden Resultaten gekommen[8]):

Sterne	sechster	Größe 10
„	fünfter	„ 28
„	vierter	„ 80
„	dritter	„ 227
„	zweiter	„ 642
„	erster	„ 1819

Mittelst desselben Steinheil'schen Photometers hat Seidel[9]) zwischen den Helligkeiten verschiedener Sterne folgende Verhältnißzahlen gefunden, bei denen er Wega oder α in der Leyer zum Vergleichungspunkte wählte:

Sirius . . .	513	Spica	49
Rigel . . .	130	Atair	40
Wega . . .	100	Aldebaran	36
Arctur . . .	84	Denebola	35
Capella . .	83	Regulus	34
Procyon . .	71	Pollux	30

In dieſer Zuſammenſtellung fehlt Betelgeuze oder α im Orion, weil dies ein Stern von veränderlichem Glanze iſt [10]).

Wie man ſieht, weichen dieſe Reſultate nicht allzu ſtark von denen ab, die Laugier gefunden hat.

Fünftes Kapitel.

Welches iſt die wahrſcheinliche Entfernung der ſchwächſten, mit bloßem Auge oder mit den mächtigſten Fernröhren ſichtbaren Sterne?

Aus den im vorigen Kapitel enthaltenen Einzelnheiten über die relativen Helligkeiten der Sterne, geht unter Zugrundelegung des Geſetzes, daß das Licht im Verhältniſſe der Quadrate der Abſtände geſchwächt wird, Folgendes hervor:

Daß Arctur dem Sterne α in der Andromeda von der zweiten Größe gleich werden würde, könnte man ihn doppelt ſo weit entfernen, als er ſich jetzt befindet.

Daß derſelbe Arctur dem Sterne vierter Größe μ im Pegaſus gleichen würde, wenn er vier Mal ſo weit als gegenwärtig entfernt wäre.

Daß er von der fünften oder ſechſten Größe erſcheinen würde, ſobald ſeine Entfernung acht Mal ſo groß als gegenwärtig würde.

Daß im Mittel ein Stern erſter Größe, wenn man ihn in eine die gegenwärtige zwölf Mal übertreffende Entfernung verſetzte, nicht aufhören würde dem bloßen Auge ſichtbar zu ſein, und daß ſein Glanz nicht unter die ſechſte Größe ſinken würde.

Herſchel hat den Verſuch gemacht, die Stufenleiter der Sichtbarkeit, welche er für das bloße Auge aufgeſtellt hatte, auch auf die teleſkopiſchen Beobachtungen auszudehnen. Nachdem er eine Reihenfolge von Fernröhren und Spiegelteleſkopen vorbereitet hatte, die reſpective

2 Mal 2 oder 4 Mal
3 „ 3 „ 9 „
4 „ 4 „ 16 „
5 „ 5 „ 25 „

} mehr Licht als das bloße Auge aufnahmen,

richtete er das ſchwächſte unter dieſen Inſtrumenten auf den weißlichen Fleck im Degengriffe des Perſeus.

Mit bloßem Auge entdeckte man darin keinen Stern; waren deren aber darin vorhanden, ſo waren ſie ſicherlich ſchwächer als die Sterne erſter Größe in einer ihre gegenwärtige zwölf Mal übertreffenden Entfernung ſein würden: das kleine Inſtrument ließ eine große Menge Sterne erkennen. Unter der wahrſcheinlichen Annahme, daß ſich in dieſer großen Menge von Sternen einige befanden, die ſo bedeutend ſind wie Arctur oder Wega (α in der Leyer) und Andere, mußten dieſe Sterne, um bei Vervierfachung ihrer Helligkeit gerade ſichtbar zu werden, doppelt ſo weit entfernt ſein als die letzten dem bloßen Auge ſichtbaren Sterne, d. h. vierundzwanzig Mal weiter als Arctur, Wega u. ſ. w.

Das zweite Fernrohr, welches das Licht im Verhältniſſe von 9 zu 1 vermehrte und dadurch die Gegenſtände drei Mal näher brachte, zeigte Sterne, von denen man im erſten keine Spur wahrnahm. Dieſe Sterne waren ebenſo hell, als ſich Arctur, Wega u. ſ. w. in einer ſechsunddreißig Mal die gegenwärtige übertreffenden Entfernung zeigen würden.

Indem nun der Beobachter Schritt für Schritt bis zum zehnfüßigen Fernrohre mit ſeiner vollen Oeffnung fortging, erkannte er Sterne von derjenigen Helligkeit, in welcher die Sterne erſter Größe erſt dann erſcheinen würden, wenn man ſie dreihundertvierundvierzig Mal weiter als gegenwärtig entfernen könnte.

Die Kraft des zwanzigfüßigen Spiegelteleſkops erſtreckte ſich bis auf das Neunhundertfache dieſer ſelben Entfernung der Sterne erſter Größe; es war überdies einleuchtend, daß ein noch ſtärkeres Fernrohr noch entlegenere Sterne würde gezeigt haben.

Wollte man die numeriſchen Folgerungen nicht zulaſſen, welche ich aus dieſen Herſchel'ſchen Reſultaten ziehen will, ſo müßte man annehmen, daß ſich unter der unermeßlichen Anzahl von Sternen, welche jedes kraftvolle Fernrohr zeigt, keiner von der Helligkeit des Arctur oder der Wega in der Leyer befinde; kurz man müßte annehmen, daß Sterne von der erſten Größe nur in der Nähe unſeres Sonnenſyſtems

entstanden seien. Eine solche Voraussetzung würde aber sicherlich einer Widerlegung nicht werth sein.

In der Folge (im 32. Kap.) werde ich ein Verfahren angeben, mit dessen Hülfe man sich mit mathematischer Sicherheit davon überzeugt hat, daß von keinem Sterne erster Größe das Licht in weniger als in drei Jahren zu uns gelangt. Hiernach müssen die Sterne verschiedener Größenklassen, wenn diese Sterne in Wirklichkeit so hell sind als Arctur, Wega in der Leyer u. s. w., so weit von der Erde entfernt sein, daß das Licht diese Entfernung nicht zu durchlaufen vermag

bei den Sternen zweiter Größe in weniger als 6 Jahren;
" " " vierter " " " " 12 "
" " " sechster " " " " 36 "
bei den letzten im zehnfüßigen Teleskope sichtbaren Sternen in weniger als 1042 Jahren;
bei den letzten im zwanzigfüßigen Teleskope sichtbaren Sterne in weniger als 2700 Jahren [11]).

Die von diesen Sternen zu uns gelangenden Lichtstrahlen erzählen uns also, wenn man sich so ausdrücken will, die alte Geschichte dieser Gestirne.

Sechstes Kapitel.

Scheinbare Durchmesser der Sterne.

Sobald man die wirkliche oder muthmaßliche Entfernung der Sterne einmal bestimmt hat, würde nichts leichter sein als die Bestimmung der wirklichen Größen der Sterne, wenn man den Winkel genau kennte, unter welchem sie von der Erde aus erscheinen. Leider ist dieser Winkel seiner Kleinheit wegen sehr schwer zu bestimmen. Infolge eines Fehlers nämlich, der allen optischen Werkzeugen gemeinsam ist, geben die Fernröhre sowohl als die Spiegelteleskope, während sie bei Gegenständen von einem einigermaßen merklichen Durchmesser, z. B. bei den Planeten sehr genaue Resultate liefern, sobald man sie auf Fixsternbeobachtungen anwendet, Resultate welche größer als die Wahrheit

ſind. Unter ſonſt gleichen Verhältniſſen werden dieſe Reſultate um ſo kleiner, je ſtärker die angewandte Vergrößerung iſt.

Um dieſe Thatſache durch einen Verſuch feſtzuſtellen braucht man nur die Bedeckung eines Sternes erſter Größe durch den Mond zu beobachten. Der Stern wird in ſeltenen Fällen kleiner als 2″ erſcheinen; der Mond durchläuft von Weſt nach Oſt in jeder Zeitſecunde eine halbe Bogenſecunde, folglich müßte, wäre der Sterndurchmeſſer wirklich ſo groß, das Verſchwinden vier Secunden dauern: dagegen verſchwindet der Stern aber in einer unmeßbar kurzen Zeit, ſobald der Mondrand den ſcheinbaren Mittelpunkt des Scheibchens erreicht. Dieſer Durchmeſſer iſt demnach irrig. Die Beobachtung der Sterne mit guten Mikrometern und bei verſchiedenen Vergrößerungen führt zu demſelben Schluſſe.

Ganz im Allgemeinen gilt alſo die Regel, daß man als Sterndurchmeſſer den kleinſten Werth annehmen muß, der jemals gefunden wurde, jedoch ohne dadurch überzeugt ſein zu können, daß dieſer kleinſte Werth den wirklichen Durchmeſſer ausdrückt.

In Herſchel's Abhandlungen finde ich (Phil. Trans. für 1803), daß im Oktober 1781 der Winkeldurchmeſſer von Wega in der Leyer, mittelſt eines eigenthümlichen Mikrometers (Lampen-Mikrometers) und bei ſechstauſendfacher Vergrößerung gemeſſen, nur 36 Hundertelſecunden betrug; ferner daß Arctur, am 7. Juli 1780, durch Nebel geſehen, nur zwei Zehntelſecunden im Durchmeſſer hatte.

Läßt man dieſe Größen gelten und legt die geringſten Entfernungen zu Grunde, die man zwiſchen der Erde und dieſen Sternen annehmen darf (ſolche Entfernungen, daß das Licht in drei Jahren bei uns ankommt), ſo würden die wirklichen Durchmeſſer reſpective 7 und 4 Millionen deutſche Meilen betragen. Ich muß aber wiederholt bemerken, daß dieſe Durchmeſſer, wenn ſie auch bei den vollkommenen Inſtrumenten, deren ſich Herſchel bediente, ſehr verringert waren, vermuthlich übertrieben groß ſind.

In geſchichtlicher Beziehung wird es dem Leſer nicht unlieb ſein, hier die Reſultate der älteren Aſtronomen zu finden.

Vor Erfindung der Fernröhre gab

Keppler dem Sirius . . . . . 240 Secunden Durchmeſſer.
Tycho mehr als . . . . . 120 „ „
Albategnius . . . . . 45 „ „

Nach Erfindung der Fernröhre gab
Gaſſendi dem Sirius . . . . 10 Secunden Durchmeſſer.
Jakob Caſſini*) (mit einem 34füßigen Fernrohre) 5 Secunden Durchmeſſer [12]).

Tycho de Brahe legte nur den Sternen erſter Größe einen Winkeldurchmeſſer von 120″ bei: dies war ein mittleres Reſultat. Die weniger hell glänzenden Sterne erſchienen ihm beträchtlich kleiner. So gab er im Mittel

den Sternen zweiter Größe . . . . 90″
„ „ dritter „ 65
„ „ vierter „ 45
„ „ fünfter „ 30
„ „ ſechſter „ . . . . 20 .

Die optiſche Täuſchung, die den Bildern der Sterne Ausdehnung und Größe verlieh, nahm alſo bei ſchwächer werdendem Lichte ſchnell ab.

Die ungemein großen Unterſchiede, welche die Werthe des Durchmeſſers für einen und denſelben Stern früher nach verſchiedenen Aſtronomen darboten, ſowohl bei Beobachtung mit bloßem Auge als mit dem Fernrohre, konnten wohl zu der Annahme berechtigen, daß die Durchmeſſer dieſer Sterne nicht wirklich vorhanden wären. Hevel gelang es, die Geſtalt der Sterne beſtändig, rund, wohl begrenzt und ſcharf zu erhalten, indem er eine mit einem kleinen runden Loche verſehene Metallplatte vor das Objectiv ſeines Fernrohrs ſetzte; damit glaubte er die Schwierigkeit der Aufgabe überwältigt zu haben. Hätte er indeſſen an die Stelle der erſten Oeffnung eine noch kleinere geſetzt, ſo würde er bei unveränderter Schärfe die Scheibchen größer geſehen haben.

*) Caſſini hoffte eine ſehr gute Wirkung dadurch zu erreichen, daß er die Oeffnung ſeines Objectivs mittelſt eines Diaphragmas aus Pappe verkleinert hatte; während aber eine ſehr ſtarke Verengung der wirklichen Oeffnung die Abweichungen wegen der Kugelgeſtalt und wegen der verſchiedenen Brechbarkeit verringerte, wurde andrerſeits der Einfluß der Diffraction an den Rändern der Oeffnung vermehrt, und dadurch erklärt ſich ohne Zweifel das zu große Reſultat, welches Caſſini gefunden hat.

Was Hevel durch Abſchwächung des Lichtes der Sterne gewann, indem er das Objectiv ſeines Fernrohrs bis auf eine kleine Oeffnung reducirte, übertraf bei Weitem das, was er infolge der Beugung der Strahlen an den Rändern des runden Lochs in ſeinem Diaphragma einbüßte [15]). Aus dieſem Grunde fand er nur folgende Reſultate:

Für den Durchmeſſer des Sirius	6″3
„ „ „ der Capella	6,0
„ „ „ des Regulus	5,1
Für die Sterne zweiter Größe	4,5
„ „ „ dritter „	3,8
„ „ „ vierter „	3,2
„ „ „ fünfter „	2,5
„ „ „ ſechſter „	2,0

Seit Erfindung der Fernröhre haben ſich verſchiedene Aſtronomen bemüht, durch Verſuche den fälſchlich vergrößerten Winkel, unter welchem die Sterne in dieſen Inſtrumenten erſcheinen, zu verringern; aber die Aufzählung ihrer Verſuche würde uns, ohne irgend ein nützliches Reſultat zu bieten, allzuweit abführen.

Ich will indeſſen nicht unbemerkt laſſen, welche unerhörte Größen aus den obigen Winkelwerthen, wenn ſie wirklich vorhanden wären, folgen würden. Läßt man als wirkliche Scheiben die mit bloßen Augen geſehenen gelten, jene falſchen Scheiben mit breiten Schwänzen (Haarbüſchel nannte ſie Galilei), ſo erhalten manche Sterne Durchmeſſer bis von 4500 Millionen Meilen, und ſelbſt die geringſten Schätzungen werden noch 800 Millionen ergeben. Es iſt in der That durch die Parallaxenbeobachtungen bewieſen (Beobachtungen von denen ſpäter die Rede ſein wird, und bei denen die ſcheinbaren Durchmeſſer nicht in Betracht kommen, ſo daß der Vorwurf eines fehlerhaften Schluſſes im Kreiſe ſie nicht treffen kann), daß bei der Entfernung der nächſten Fixſterne eine Secunde im Durchmeſſer wenigſtens 19 Millionen Meilen ausmacht. Die oben gemachten Grenzangaben ſind nun aber in runden Zahlen die Producte von 19 Millionen mit 240 und 45, d. h. mit der Anzahl von Secunden, welche Keppler und Albategnius dem Sirius-Durchmeſſer beilegten. Die Beſtimmungen von Gaſſendi

und Caſſini laſſen den Sternen, trotz der ſtarken Verkleinerung, noch Durchmeſſer von wenigſtens 190 Millionen Meilen und von der Hälfte dieſer Größe.

Siebentes Kapitel.

Wirkliche Sterndurchmeſſer.

Gaſſendi war von der geringen Helligkeit überraſcht, welche die ſämmtlichen gleichzeitig über unſerem Horizonte glänzenden Sterne in einer vollkommen heitern Nacht verbreiten, und dieſer Umſtand hatte ihn veranlaßt nachzuforſchen, welche Ausdehnung nach der Vorſtellung der meiſten damaligen Aſtronomen über die Winkeldurchmeſſer aller dieſer Geſtirne, eine aus der ganzen Anzahl derſelben gebildete Scheibe beſitzen würde. In einem Briefe Galilei's an den Großherzog von Toscana, findet man bei Gelegenheit des ſogenannten aſchgrauen Lichtes (einer Erſcheinung, welche wir ſpäter betrachten wollen), eine Stelle, die man allenfalls als den Keim derjenigen Methode betrachten könnte, welche ich jetzt nach Gaſſendi vorzutragen verſuchen werde.

Indem er den Durchmeſſer der Sterne erſter Größe zu 3′ annahm, den der zweiten zu $2^1/_2$, ferner die Durchmeſſer der Sterne dritter, vierter, fünfter, ſechſter Größe der Reihe nach zu 2′, $2^1/_2$′, 1′ $^1/_2$′, ſo ergab eine ſehr einfache Rechnung, daß die Vereinigung der Hälfte aller 1026 mit bloßen Augen am ganzen Himmelsgewölbe ſichtbaren Sterne, die der Hipparch'ſche Katalog aufführt, eine merklich größere Fläche ausmachen würde, als die der Sonne und alſo auch die des Mondes.

Da nun jeder Stern offenbar mehr Helligkeit beſitzt, als ebenſo große Theile des Mondes, ſo müßten demnach die 513 Sterne in ihrer Vereinigung uns mehr Licht zuſenden, als der Mond wenn er voll iſt, und dies findet bei Weitem nicht ſtatt. Daraus folgt, daß die den Sternen in dieſer Rechnung beigelegten Durchmeſſer übermäßig groß ſind.

So bot also die Photometrie ein Mittel, den Irrthum in den Winkeldurchmessern der Sterne zu erkennen, die man vor Erfindung der Fernröhre und der Mikrometer nicht hatte bestimmen können. Heutzutage kann man die Gassendi'sche Rechnung vervollkommnen, indem man dabei das Verhältniß der Lichtstärken der Sonne und des Sirius zu Grunde legt, das zuerst Huygens und später Wollaston erhalten haben [14]).

Der englische Physiker hat nämlich gefunden, daß erst 20000 Millionen Sterne von der Helligkeit des Sirius die Erde ebenso stark wie die Sonne erleuchten würden.

Man nehme an daß Sirius an sich so glänzend sei wie unsere Sonne, oder was dasselbe bedeutet, daß seine scheinbare Oberfläche ebenso stark glänze als ein entsprechender Theil der Sonnenscheibe.

Dies vorausgesetzt müßte eine Anhäufung von Sternen, die einzeln dem Sirius gleichen, offenbar eine der Sonne gleiche Oberflächenausdehnung haben, damit das Licht dieser Anhäufung auf der Erde eine Helligkeit wie die unserer Sonne verbreitete; oder mit andern Worten, es müßten 20000 Millionen Flächen von der Größe des Sirius der Oberfläche der Sonnenscheibe gleich sein.

Der Durchmesser der Sonne beträgt etwas mehr als 31 Minuten oder ungefähr 2000 Bogensecunden, d. h. 20000 Zehntel- oder 160000 Achtzigstel-Secunden; hält man sich an diese letztere Zahl, so wird die Sonnenoberfläche aus 20000 Millionen kleiner Kreise bestehen, deren jeder $^1/_{80}$ Secunde zum Halbmesser hat. Sollen nun 20000 Millionen Sterne wie Sirius der Sonnenoberfläche gleich sein, so müßte also die Oberfläche dieses Sternes so groß sein wie ein kleiner Kreis von $^1/_{80}$ Secunde Halbmesser oder $^1/_{40}$ Secunde Durchmesser. Dies würde der Durchmesser des Sirius sein; nur vergesse man nicht daß wir vorausgesetzt haben, der diesem Sterne eigenthümliche Glanz sei dem der Sonne genau gleich.

Ueberträfe der Eigenglanz des Sirius den unserer Sonne, so müßte eine Ansammlung solcher Sterne kleiner sein als die Oberfläche unserer Sonne, um ebensoviel Licht als dies Gestirn auf der Erde zu verbreiten, und der Winkeldurchmesser des Sirius würde alsdann kleiner sein als $^1/_{40}$ Secunde. Nun scheint aber aus Betrachtungen, die Wollaston

in ſeiner Abhandlung entwickelt, hervorzugehen, daß der Eigenglanz des Sirius den der Sonne weit übertrifft; ſteht dies einmal feſt, ſo ſind wir berechtigt anzunehmen, daß der Winkeldurchmeſſer des hellſten Sternes am Himmel geringer ſei als $^1/_{30}$ Bogenſecunde.

Darf man es hiernach wunderbar finden, daß durch directe Meſſungen der Aſtronomen noch Nichts über die wirklichen Durchmeſſer der Sterne ausgemacht iſt?

Achtes Kapitel.

Ob das Licht der Sterne veränderlich ſei?

Es iſt von großem Intereſſe zu unterſuchen, ob die Sterne in unveränderter Helligkeit glänzen. Denn nimmt man einmal an dies ſei nicht der Fall, ſo wird unſere Sonne, die offenbar gleichfalls ein Stern iſt, unter die allgemeine Regel fallen. Es kann dann in früheren Jahrhunderten eine viel höhere Temperatur als gegenwärtig auf der Erde geherrſcht haben; den zukünftigen Jahrhunderten wird es aufbewahrt ſein die Sonne verlöſchen zu ſehen, zu ſehen wie die geſammten Planeten ſich um eine Maſſe bewegen, die immer noch ungeheuer groß iſt, aber nicht mehr im Stande auf 20 Millionen Meilen Entfernung Leben zu erregen; die Geologen werden dann berechtigt ſein, ſich bei Erklärung gewiſſer Erſcheinungen, welche die Erdrinde darbietet, dreiſt auf eine Urſache zu berufen, die ſo ſehr hypothetiſch erſchien, daß ſie bisher kaum davon zu ſprechen wagten.

So unvollkommen die alten Beobachtungen des Sternhimmels ſind, ſie werden uns dennoch dazu dienen feſtzuſtellen, daß gewiſſe Sterne ihre Helligkeit ändern.

Auf das Gedicht des Aratus will ich nicht eingehen, denn dies bietet uns nur das ganz Allgemeine, Unbeſtimmte, Ungenaue dar, das wir bei allen ſolchen Schriftſtellern des Alterthums oder der Neuzeit finden, welche die Naturerſcheinungen nur vom Hörenſagen kannten und ſich niemals die Mühe gaben ſie mit eigenen Augen zu prüfen. Ich will aus beſſern Quellen ſchöpfen.

Eratosthenes, 276 Jahre vor unserer Zeitrechnung geboren, sagte von den Skorpionsternen Folgendes:

„Voran geht der hellste von allen, der glänzende Stern an der nördlichen Scheere.“ Gegenwärtig ist aber die nördliche Scheere weniger hell als die südliche und besonders als Antares[15]).

Es sind also im Sternbilde des Skorpions seit der Zeit des Eratosthenes Helligkeitsänderungen eingetreten*).

Um die in der Ueberschrift dieses Kapitels aufgestellte Frage zu beantworten, hatte man früher, ich könnte sogar gestehen, nahm ich früher zur Vergleichung die schönen Himmelskarten, welche Bayer, der berühmte Jurist und Astronom, im Jahre 1603 zu Regensburg veröffentlicht hat, und die ich anzuführen schon Gelegenheit hatte; aber dieser Vergleichungspunkt war beträchtlich mangelhafter, als die Astronomen im Allgemeinen angenommen hatten. Argelander in Bonn hat nach einer gründlichen Prüfung der Bayer'schen Karten vor nicht langer Zeit bewiesen, daß ihr Verfasser selbst keine einzige Beobachtung angestellt hatte, sondern sich damit begnügte die Sterne nach den Größen so einzutragen, wie sie im Almageſt des Ptolemäus und im Tycho'schen Kataloge verzeichnet stehen.

Bayer hatte, wie ich schon oben bemerkt habe (8. Buch, 4. Kap. S. 270), den glücklichen Gedanken, die Sterne in jedem Bilde durch die Buchstaben α, β, γ, δ ... des griechischen Alphabets zu bezeichnen, aber man hatte bisher angenommen, daß er bei Einführung dieser Bezeichnung genau auf die Größe der verschiedenen Sterne geachtet habe, so daß in jedem Bilde α unbedingt den hellsten Stern bezeichnete, β den nächst hellen; γ würde in dieser Weise den dritthellen, δ den vierten, ε den fünften bezeichnet haben u. s. f. Dies ist aber nicht genau das Verfahren, welches Bayer befolgt hat: mit dem Buchstaben α bezeichnet er allerdings den hellsten Stern eines Bildes, aber wenn in demselben Sternbilde fünf oder sechs Sterne der folgenden Größe, und

*) Nach Aratus enthielt die Leyer, in der jetzt ein Stern erster Größe glänzt, keinen ausgezeichneten Stern[16]). Wenn ich von dieser Behauptung des Dichters keinen Gebrauch machte, so geschieht es, weil ihr eine bestimmte Aussage des Eratosthenes entgegensteht.

doch untereinander von ungleicher Helligkeit vorhanden sind, so gibt er sich nicht die Mühe mit β den hellsten unter diesen Sternen, mit γ den dritten u. s. w. zu bezeichnen.

Nach Argelander, dessen eigene Worte ich hier folgen lasse[17]), „befolgt in diesem Falle die Ordnung der Buchstaben die Stellungen am Himmel (nicht die Helligkeiten), und zwar in der Weise, daß die neben einander liegenden Sterne derselben Größenklasse durch aufeinander folgende Buchstaben bezeichnet werden, und daß bei dieser Reihenfolge meist vom Kopfe in der Richtung des Bildes fortgegangen wird. Obgleich diese Ordnung in allen Bildern deutlich erkennbar ist, wird sie doch am auffallendsten bei denjenigen, die bei geringer Breite langgestreckt sind, wie der Drache, die Schlange, Eridanus und die Wasserschlange. — Die Unterscheidung der Sterngrößen durch den Beisatz *größer* und *kleiner*, den man in vielen Manuscripten des Almageſt findet, hatte Tycho in seinen Beobachtungen und in seinem Kataloge beibehalten, indem er denjenigen Sternen derselben Klasse, die sich vor den andern auszeichneten, zwei Punkte, denen aber die weniger hell waren als die meisten dieser Klasse, *einen* Punkt hinzufügte. Daß Bayer auch diese Punkte keineswegs berücksichtigt hat, geht aus dem Umstande hervor, daß er z. B. im Skorpion, nachdem er den Buchstaben δ einem von Tycho als dritter Größe bezeichneten Sterne gegeben, einen späteren Buchstaben einem anderen, helleren Sterne dritter Größe beilegt, der als heller sogar bezeichnet ist.

In der Cassiopeja gab er einem Sterne dritter Größe den Buchstaben β, und bezeichnete mit γ einen helleren Stern dritter Größe."

Es ist also fernerhin nicht gestattet in Betreff der Lichtstärke irgend einen Werth auf diejenigen Vergleichungen zu legen, die man mittelst der Bayer'schen Karten und der neueren Verzeichnisse angestellt hat; aus diesem Grunde will ich sie sämmtlich unterdrücken, nur den Fall des Sternes erster Größe in jedem Bilde angenommen, den der Verfasser der Himmelskarte von 1603 unabänderlich α genannt hat.

Im Jahre 1783 beschloß William Herschel die Beschäftigung mit der Lichtstärke der Sterne zu so vielen anderen Untersuchungen hinzuzufügen, die seine Tage und Nächte ausfüllten. Aber leider hatten weder die Physiker vor ihm, noch er selbst, irgend ein Mittel gefunden,

die abſolute Helligkeit ſo ſchwacher Lichter, wie das Licht der Sterne, untereinander zu vergleichen. Herſchel war alſo genöthigt ſich auf relative Helligkeiten zu beſchränken; indem er nämlich jeden Stern mit den ihm benachbarten und gleichzeitig ſichtbaren, ohne Anwendung eines Inſtruments verglich, ordnete er alle nach der Reihenfolge ihrer relativen Helligkeiten. Angenommen man habe an einem Abende ſieben Sterne A, B, C, D, E, F, G ihren Helligkeiten entſprechend in dieſe alphabetiſche Ordnung geſtellt, ſo wird es, wenn die Reihenfolge an einem andern Abende nur für einen Stern geändert iſt, z. B. für den Stern D und die Beobachtung es nöthig macht, ſtatt der früheren Reihenfolge jetzt A, B, D, C, E, F, G oder etwa A, B, C, E ,D, F, G zu ſetzen (und in noch höherem Grade, wenn D um mehr als eine Stelle von ſeinem früheren Orte verrückt iſt), faſt unzweifelhaft ſein, daß D ſeine Helligkeit verändert hat. Herſchel's Methode iſt im Grunde diejenige, deren ſich Bayer, wie man bis vor Kurzem glaubte, bedient hatte.

Um ſich eine genaue Vorſtellung von den Schwierigkeiten zu machen, die einem Beobachter entgegen treten, wenn er es unternimmt die Sterne nach ihrer Lichtſtärke zu ordnen, darf man nicht vergeſſen, daß die periodiſchen Aenderungen im Glanze der verglichenen Sterne Irrthümer hervorrufen; man muß ferner bedenken, daß die atmoſphäriſchen Schichten in ungleichen Höhen über dem Horizonte ungleich durchſichtig ſind, daß ferner Dämmerung und Mondlicht das Licht der Sterne ſchwächen und daß auch das Funkeln die Vergleichung ſtört.

Obſchon die Vergleichungen der Zeit nach nahe bei einander lagen, glaubte Herſchel dennoch aus dieſen werthvollen Tafeln wirkliche Helligkeitsänderungen (in Zunahme oder in Abnahme) bei dem dreißigſten Theile der beobachteten Sterne, alſo bei einem unter dreißig erkannt zu haben. Uebrigens iſt dieſe Arbeit ſchätzenswerther wegen der Reſultate, die ſie denjenigen Aſtronomen verſpricht, welche dieſelbe in Zukunft zu Vergleichungspunkten benutzen werden, als wegen der Ergebniſſe, welche ſie bisher geliefert hat.

In einer Abhandlung vom Jahre 1796 theilte William Herſchel die folgenden Reihenfolgen mit, die ſogar für den erſten Stern

jedes Bildes mit den Angaben Bayer's vollkommen im Widerſpruch ſtehen[18]):

12. Mai 1783.

Drache	γ	müßte	an	die	Stelle	treten	von	α
Herkules	β	"	"	"	"	"	"	α

1796.

Caſſiopeja	β	"	"	"	"	"	"	α
Krebs	β	"	"	"	"	"	"	α
Wallfiſch	β	"	"	"	"	"	"	α
Dreieck	β	"	"	"	"	"	"	α
Schütze	γ	"	"	"	"	"	"	α
Steinbock	δ	"	"	"	"	"	"	α

Neuntes Kapitel.

Es gibt Sterne von abnehmender Helligkeit.

Den Schluß daß die Helligkeit einiger Sterne im Abnehmen begriffen ſei, kann man allenfalls ſchon aus dem entnehmen, was wir aus Eratoſthenes (S. 200) über die Aenderung des Sterns in der nördlichen Scheere des Skorpions angeführt haben. Wir wollen dieſem Schluſſe aber durch Vergleichung von Beobachtungen anderer Art größere Beweiskraft geben.

Zunächſt erinnere ich daran, daß die mit bloßem Auge ſichtbaren Sterne auf unſern Karten und in unſern Katalogen in ſechs Größenklaſſen gebracht werden; daß darin die hellſten Sterne die erſte Klaſſe bilden, und darauf die Sterne zweiter, dritter Größe u. ſ. w. folgen; daß endlich die Sterne ſechſter Größe die letzte Klaſſe der noch mit bloßem Auge gut wahrnehmbaren Sterne ausmachen. Ueberdies bemerke ich, daß geübte Aſtronomen bei der Vertheilung der Sterne in Größenklaſſen kaum von einander abweichen.

Nun wohl, α im Großen Bären könnte heutzutage keinenfalls, wie zu Flamſteed's Zeit, zu den Sternen erſter oder zweiter Größe gerechnet werden; dieſer Stern hat alſo an Licht abgenommen.

Flamsteed bezeichnete die beiden ersten Sterne der weiblichen Wasserschlange als vierter Größe; Herschel fand sie nur noch achter oder neunter.

Denebola oder β im Löwen, den Bayer zur ersten Größe rechnete, ist gegenwärtig merklich geringer als die Sterne zweiter Größe [19]).

α im Drachen wurde in Bayer's Atlas von der zweiten Größe gesetzt; in der Gegenwart würde man ihm höchstens die dritte geben [20]).

Den unwiderleglichsten Beweis für die Helligkeitsabnahme eines Sternes finde ich, wie mich dünkt, in einer sehr alten Bemerkung des Hipparch.

Dieser berühmte Astronom, der 120 Jahre vor unserer Zeitrechnung lebte, sagte den Aratus verbessernd: „Der Stern am Vorderfuß des Widders ist ein schöner und merkwürdiger." In unserer Zeit ist der Stern am Vorderfuße des Widders vierter Größe [21]). Um der Folgerung aus dieser Beobachtung zu entgehen, wäre es unnütz die Gestalt und Lage des Thiers zu ändern; man könnte den Fuß sogar bis zum Knoten in den Fischen verlängern, ohne dadurch zu gewinnen, denn der glänzendste Stern dieses Knotens ist gleichfalls nur vierter Größe.

Zehntes Kapitel.

Verschwundene oder vollständig verlöschte Sterne.

Nachdem ich Sterne genannt habe, deren Lichtstärke abnimmt, will ich von andern reden, die vollständig verschwunden sind. Ich verweile nicht beim siebenten Plejadenstерne, dessen Verschwinden, der Sage zufolge, mit der Einnahme von Troja zusammenfiel, sondern gehe ohne Weiteres über zu den Beobachtungen Hevel's. Dieser Astronom berichtet von fünf Sternen [22]), welche in seiner Zeit verschwanden (Delambre, Hist. de l'Astr. mod. T. II, S. 483). William Herschel fand, so lange er Flamsteed's Himmelsatlas noch als ganz zuverläſſig betrachtete, die Anzahl der verlorenen Sterne sehr beträchtlich; später aber, als er auf die Originalbeobachtungen Flamsteed's zurückgegangen war, entdeckte er im Himmelsatlas und im britischen Kataloge zahl-

reiche Irrthümer, die ihn zur Abänderung seiner früheren Resultate nöthigten[23]). Wie nothwendig diese mühevolle Arbeit gewesen, wird man einsehen, sobald ich berichte, daß der Katalog 111 erdichtete Sterne enthielt, die durch Rechnungs- und Schreibfehler entstanden waren, und daß andererseits 500 bis 600 genau beobachtete Sterne weggelassen worden waren.

Nach der soeben erwähnten Durchsicht bezeichnete Herschel als Sterne, die seit Flamsteed's Zeit vollständig verschwanden:

den neunten im Stier, sechster Größe,
den zehnten im Stier von derselben Größe.

Das Folgende lautet umständlicher, bestimmter:

Der fünfundfunfzigste Stern im Herkules, am Halse dieses Bildes, steht in Flamsteed's Kataloge als ein Stern der fünften Größe; am 10. October 1781 sah ihn W. Herschel deutlich und bemerkte, daß er röthlich war; am 11. April 1782 sah er ihn wiederum und trug ihn in sein Tagebuch als einen gewöhnlichen Stern ein; am 24. März 1791 war keine Spur von ihm übrig geblieben. Wiederholte Versuche ergaben am 25. kein anderes Resultat: der Stern 55 im Herkules ist also verschwunden[24]).

Ich fürchte nicht, den Gegenstand, der in diesen verschiedenen Kapiteln betrachtet wurde, zu ausführlich behandelt zu haben; denn was kann in der That, wie ich schon gesagt habe, merkwürdiger sein, als zu wissen, ob die Millionen von Sonnen, die den Raum erfüllen, ob folglich auch unsere Sonne sich in einem unveränderlichen Zustande befinden; ob die Menschheit auf eine unbegrenzte Fortdauer der wohlthätigen Wärme rechnen dürfe, die das Leben auf der Erde erhält, oder ob sie plötzliche, heftige, todtbringende Aenderungen der Lichtstärke oder der Wärmekraft zu fürchten hat?

Ich kann diesen Abschnitt nicht schließen, ohne im Interesse der Wahrheit und der Gerechtigkeit zu bemerken, daß diese großen Probleme die Aufmerksamkeit verschiedener Astronomen schon auf sich gelenkt hatten, bevor William Herschel dieselben zum Gegenstande seiner weitgreifenden Untersuchungen machte.

In der That hatte schon Ulugh-Beig im Jahre 1437, in der Vorrede zu seinem Kataloge geäußert, „daß ein Stern im Fuhrmann,

daß der elfte Stern im Wolf, ferner sechs Sterne, darunter vier von der dritten Größe in der Nähe des südlichen Fisches, die alle in den Katalogen des Ptolemäus und Abderrahman-Suphi vorkommen, nicht mehr sichtbar seien."

Gegen Ende des XVII. Jahrhunderts kündigte J. D. Cassini an, daß der von Bayer über ε im Kleinen Bären gesetzte Stern verschwunden sei, und daß der Stern ζ in der Andromeda beträchtlich an Licht verloren habe[25]). Maraldi erkannte im Jahre 1709 mit einem Fernrohr weder einen alten Stern sechster Größe an der Brust des Löwen, der im Jahre 1603 mit ε bezeichnet worden war, noch einen andern Stern sechster Größe, welchen Bayer unter die südliche Hand der Jungfrau setzte; noch einen Stern sechster Größe, welcher nach den Karten des deutschen Astronomen in der östlichen Schale der Waage stand, u. s. w.

Elftes Kapitel.

Es gibt Sterne von zunehmender Helligkeit.

In einer am 26. Februar 1796 vor der Königlichen Societät zu London gelesenen Abhandlung rechnete William Herschel β in den Zwillingen, β in der Waage, und ζ im Schützen zu den Sternen, deren Helligkeit stufenweise zunimmt, aber so viel mir bekannt, hat er niemals die Gründe entwickelt, auf welche sich diese Behauptung stützte.

Ich wende mich zu bestimmteren Thatsachen:

Der Stern 31 im Drachen war nach Flamsteed gegen Ende des XVII. Jahrhunderts siebenter Größe; William Herschel rechnete ihn im Jahre 1783 zu den Sternen der vierten Größe.

Der 14. Stern im Luchs, siebenter Größe nach Flamsteed, war nach Herschel's Beobachtungen bis zur fünften Größe gestiegen.

Der 38. Stern im Perseus war zu Flamsteed's Zeit von der sechsten Größe, und Herschel sah ihn von der vierten.

Nahe bei ζ im Großen Bären befindet sich ein Stern, der heut-

zutage gut sichtbar ist (8. Buch, 9 Kap. S. 289). Man behauptet er nehme an Helligkeit zu, und stützt sich dabei auf den seltsamen Umstand, daß ihn die Araber Alkor nannten, eine Benennung, welche nach einer früheren Bemerkung (vergl. S. 302) bei denen, welche diesen Stern erkannten, ein scharfes Gesicht voraussetzt.

Zwölftes Kapitel.

Hypothesen über die Vertheilung der Sterne am Himmel.

Plato pflegte zu sagen, daß Gott bei Anordnung der Bestandtheile der Welt geometrisch verfahren sei.

So haben auch, von Anfang an, die Menschen den gestirnten Himmel einfachen, regelmäßigen Gesetzen unterwerfen wollen, welche ihre Einbildungskraft erfand.

Sie nahmen also an, die Sterne seien alle gleichweit von einander entfernt, so daß der Unterschied im Glanze ausschließlich von der Verschiedenheit der Entfernung bedingt worden wäre. Dieser ersten Voraussetzung fügte Halley noch die Annahme hinzu, daß die Sterne der ersten Größenklasse gleichweit voneinander und von der Sonne abständen.

Gesetzt die Sonne befinde sich im Mittelpunkte einer Kugel, so lassen sich auf der Oberfläche dieser Kugel 12 Punkte dergestalt anbringen, daß sie unter sich und vom Mittelpunkte gleichweit, nämlich um die Größe des Halbmessers entfernt sind [26]). Auf der vier Mal größeren Kugel von doppeltem Halbmesser werden 48 Punkte gleichfalls so angeordnet sein, daß sie von einander um eine dem Halbmesser der ersten Kugel gleiche Größe entfernt stehen. Auf der Oberfläche einer Kugel von dreifachen Halbmesser wird die Anzahl solcher Punkte 9 Mal 12 oder 108 betragen, u. s. w.

Dieser Vorstellung widersprechen aber die Thatsachen:

Die Zahl der Sterne verschiedener Größe folgt nicht der Reihe 1, 4, 9, 16, 25...; ebensowenig befolgen die Lichtstärken der Sterne in

den verſchiedenen Größenklaſſen das Geſetz der Quadrate von den Entfernungen 1, 2, 3, 4 . . . .; ferner erſcheinen von der Erde aus die Sterne erſter Größe keineswegs ſo gleichmäßig, oder beſſer ſo durchaus in gleichen Winkeldiſtanzen am Himmel vertheilt, als die Vorausſetzung annimmt; und ebenſo würde endlich die ſcheinbare Vertheilung der Sterne zweiter, dritter . . . Größe zu ähnlichen Schwierigkeiten Veranlaſſung geben.

Man ſieht hier von Neuem, wie gefährlich es iſt, der Phantaſie mehr als der Beobachtung zu folgen.

Der Arbeit von Schwinck zufolge, die mein Freund von Humboldt erwähnt (Kosmos III. S. 177 und 219), ſind die Sterne nach den verſchiedenen Rectaſcenſionen folgendermaßen vertheilt:

von	0°	bis 90°	2858	Sterne.
—	90	— 180	3011	—
—	180	— 270	2688	—
—	270	— 360	3591	—

die Summe aller bis zur 7. Größe einſchließlich beträgt 12148.

Dreizehntes Kapitel.

Ob die Anzahl der Sterne unbegrenzt ſei, und ob das Licht durch ein gewiſſes elaſtiſches, dem Aether vergleichbares, zwiſchen Erde und den Sternen befindliches Mittel geſchwächt werde?

Geſtützt auf metaphyſiſche Betrachtungen behauptete der Philoſoph Kant, daß der Raum unendlich, und überall mit Geſtirnen erfüllt ſei, denjenigen Geſtirnen ähnlich, welche die unſern kraftvollen Fernröhren zugänglichen Regionen enthalten.

Betrachten wir dieſelbe Frage von einem andern Geſichtspunkte aus.

Wenn die Welt der Sterne unendlich iſt, ſo gibt es keine einzige von der Erde aus in den Raum gerichtete Geſichtslinie, welche nicht auf eines dieſer Geſtirne träfe. Wie klein auch die Oberfläche jedes einzelnen Sternes ſei, in ihrem Zuſammenhange werden die Sterne den

Anblick einer leuchtenden Hülle ohne irgend eine dunkle Stelle darbieten. Bisweilen wird freilich der Zwischenraum zweier, um eine gewisse Größe von einander abstehenden Sterne an dieser Kugel, durch einen unendliche Male weiter entfernten Stern ausgefüllt sein; dies wird aber nicht verhindern, daß in Betreff der Helligkeit sich die Erscheinung so darstellen wird, als ob alle Sterne an einer Kugelschale in einer und derselben Entfernung angeheftet wären. Wenn alle Sterne, aus denen die Kugelschale besteht, gleichen Eigenglanz besäßen, so würde die Helligkeit dieses Gewölbes überall dieselbe sein. Angenommen dieser Glanz gliche dem der Sonne (eine ziemlich natürliche Voraussetzung, da die Sonne in Wirklichkeit ein Stern ist), so würde uns jede Stelle am Himmel von etwa 32′ Winkelausdehnung ebensoviel Licht als die Sonne selbst senden. In der Natur aber ist der Anblick ein ganz anderer. Wie soll man dies erklären, ohne die Vorstellung von einem unendlichen, in seiner ganzen Ausdehnung mit Sternen erfüllten Raume aufzugeben?

Man hat zur Vereinbarung der so widersprechenden Resultate, wie sie aus den Gesetzen der Optik und aus den Beobachtungen folgen, die Annahme gemacht, daß die Himmelsräume nicht vollkommen durchsichtig sind, sondern einen Theil der durchgehenden Strahlen verschlucken. Diese Absorption brauchte nicht einmal beträchtlich zu sein, denn man würde die Thatsachen z. B. schon unter der Annahme erklären können, daß ein einziger unter 800 vom Sirius ausgehenden Strahlen beim Durchgange durch das zwischen diesem Sterne und der Erde befindliche Mittel aufgehalten wird[27]). Wenn man diese Annahme mit der Voraussetzung einer Absorption im Verhältniß des durchlaufenen Raumes verbindet, so ergibt sich, daß diejenigen Sterne, die sich in einer 30000 Mal größeren Entfernung als Sirius befänden, die Helligkeit des Himmelsgewölbes nicht merklich vermehren könnten.

Vierzehntes Kapitel.

Ueber die unvollkommene Durchsichtigkeit der Himmelsräume.

Die vorstehenden Betrachtungen über die unvollkommene Durchsichtigkeit der Himmelsräume werden gewöhnlich Olbers zugeschrieben, der im Jahre 1823 über diesen Gegenstand eine Abhandlung im Berliner Jahrbuche veröffentlichte.

Doch war dem berühmten bremer Astronomen schon Chéseauz in Lausanne zuvorgekommen, der in seiner Schrift über den Kometen von 1744 (welche in demselben Jahre erschien), diese Frage gleichfalls in Betracht gezogen hatte, und zu demselben Ergebnisse gelangt war[28]).

Es ist kaum denkbar, daß sich keinem von den beiden genannten Gelehrten die Betrachtung sollte dargeboten haben, es müsse in der unzähligen Menge von Sternen, mit denen sie sich den unbegrenzten Raum angefüllt dachten, eine unzählige Menge durchaus unsichtbarer und dunkler Körper geben. Durch diese einfache Betrachtung werden, wie mir scheint, ihre Rechnungen von Grund aus widerlegt, und die darauf gegründeten Schlüsse auf Nichts zurückgeführt. Denn es ist ganz einleuchtend, daß die Gesammtheit aller dieser dunkeln und undurchsichtigen Sterne gewissermaßen eine unbegrenzte Hülle bilden muß, außerhalb welcher aus dem Grunde nichts sichtbar sein kann, weil die Strahlen eines jeden Sternes, der außerhalb der äußersten Bestandtheile dieser Hülle befindlich ist, auf ihrem Wege einem Schirme begegnen, der sie aufhält.

Olbers betrachtete die unvollkommene Durchsichtigkeit des Raumes als ein Mittel, dessen sich der Schöpfer bedient habe, um den Bewohnern der Erde das Studium der Astronomie bis ins Einzelne möglich zu machen. „Vom Fixsternhimmel würden wir nichts wissen: unsere eigene Sonne nur mühsam an ihren Flecken entdecken, und blos den Mond und die Planeten als dunklere Scheiben auf dem sonnenhellen Himmelsgrund unterscheiden[29])."

Doch es würde überflüssig sein, wiederhole ich, diesen Gegenstand weiter zu erörtern; umsomehr als die Astronomen nachgewiesen haben, daß Sterne, welche einst sichtbar waren, vollständig verschwun-

den ſind. Aus dieſem Grunde muß die Welt endlich erſcheinen, wie groß auch in Zukunft die Kraft der Fernröhre ſein mag, die der Menſch herzuſtellen im Stande ſein wird.

Fünfzehntes Kapitel.

Veränderliche oder periodiſche Sterne.

Es gibt Sterne, deren Helligkeit periodiſch veränderlich iſt. Bei einigen dieſer merkwürdigen Geſtirne geſchieht der Uebergang vom Maximum zum Minimum der Helligkeit und die Rückkehr vom Minimum zum Maximum in kurzer Zeit; bei andern dagegen ſind dieſe Perioden ziemlich lang.

Ich laſſe eine Ueberſicht einiger periodiſchen Sterne hier folgen:

Veränderliche Sterne von langer Periode.

Der Stern R in der Krone, deſſen Periode 323 Tage umfaßt, und deſſen Licht ſich von der ſechſten Größe bis zum Verſchwinden ändert.	Die Periodicität iſt von Pigott erkannt und von demſelben Aſtronom beſtimmt worden.
o im Wallfiſch; Periodicität von 334 Tagen; der Stern ändert ſich von der zweiten Größe bis zum Verſchwinden.	Die Periodicität von Holwarda entdeckt; die Dauer der Periode von Bullialdus beſtimmt.
χ am Halſe des Schwans; Periode von 404 Tagen, mit einer Veränderlichkeit von der fünften bis zur elften Größe.	Die Periodicität erkannt von Kirch; die Periode von Maraldi beſtimmt.
Der 30. Stern in der weiblichen Waſſerſchlange oder der Hevel'ſchen Waſſerſchlange; Periode von 494 Tagen. Der Stern ändert ſich von der vierten Größe bis zum Verſchwinden.	Die Periodicität von Maraldi entdeckt; die Periode von Maraldi, und ſpäter genauer von Pigott beſtimmt.

Veränderliche Sterne von kurzer Periode.

Algol im Meduſenhaupte, oder β im Perſeus. Periode von 2 Tagen 20 Stunden 48 Minuten.	Die Veränderlichkeit zwiſchen der zweiten und vierten Größe erkannten Montanari und Maraldi. Die Periode iſt von Goodricke beſtimmt worden.

δ im Cepheus; Periode von 5 Tagen 8 Stunden 37 Minuten. Aenderung von der dritten bis höchstens zur fünften Größe.	Die Periode erkannt und bestimmt von Goodricke.
β in der Leyer; Periode von 6 Tagen 9 Stunden. Aenderung von der dritten bis höchstens zur fünften Größe.	Die Periode erkannt und bestimmt von Goodricke.
η im Antinous; Periode von 7 Tagen 4 Stunden 15 Minuten, mit einer Aenderung von der vierten zur fünften Größe.	Die Periode erkannt und bestimmt von Pigott.
η im Schiffe.	Periode noch unbestimmt.

Ich habe es für nöthig gehalten diese Tafel selbst aufzustellen, indem ich, soweit thunlich, zu den Originalquellen zurückging; denn die Einzelheiten, die ich aus den angesehensten astronomischen Schriften hätte schöpfen können, scheinen mir in geschichtlicher Hinsicht der Genauigkeit zu entbehren. Wirklich hat man in einigen Fällen denjenigen für den Entdecker eines periodischen Sternes gehalten, der diesen Stern als einen neuen beobachtet zu haben glaubte, und der niemals daran dachte, daß der Stern nach seiner Schwäche wieder zur ursprünglichen Lichtstärke zurückkehren würde. In andern Fällen dagegen hat man den Astronomen gänzlich übersehen, der die Periodicität bemerkt und bekannt gemacht hatte, und alle Ehre der Entdeckung demjenigen zugetheilt, der aus einer mehr oder weniger guten Verbindung seiner eigenen Beobachtungen mit denen seiner Vorgänger die Periode des Lichtwechsels numerisch am genauesten bestimmte. Zwar läßt sich jedes dieser beiden Verfahren durch gute Gründe vertheidigen; aber die Gerechtigkeit scheint mir zu fordern, daß wenn man sich einmal für eines von beiden entschieden hat, man nicht davon abgehen darf, besonders nicht in einer einzigen, wenige Zeilen umfassenden Tafel. Meinerseits habe ich von Niemand einen Vorwurf zu befürchten, da alle Elemente, welche die vollständige Entdeckung begründen, in meiner Tafel angegeben sind und demjenigen zugeschrieben werden, dem sie von Rechtswegen zukommen.

Muß man sich nicht wundern, daß Hevel häufig den Winkelabstand

zwiſchen o im Wallfiſch und Algol gemeſſen hat, ohne die Veränderlichkeit dieſes letzteren Sternes zu bemerken? Dies mag eine Warnung für diejenigen ſein, welche es ſcheuen ein von hervorragenden Männern ſchon bearbeitetes Feld zu betreten.

Uebrigens werde ich dem dritten Bande des Kosmos meines berühmten Freundes Alexander von Humboldt das von Argelander aufgeſtellte Verzeichniß der veränderlichen Sterne entlehnen. Die Null in der Columne für das Minimum bedeutet, daß der Stern zur Zeit deſſelben ſchwächer als 10. Größe iſt. Die großen Buchſtaben des lateiniſchen Alphabets hat Argelander den kleinen veränderlichen Sternen beigelegt, die vor ihm weder Namen noch ſonſtige Bezeichnung hatten. Die ſieben Sterne o im Wallfiſch, β im Perſeus, χ im Schwan, 30 der Hevel'ſchen Waſſerſchlange, β in der Leyer, δ im Cepheus und R in der Krone findet man in der Tafel, die ich ſelbſt aufgeſtellt habe. Der Stern η im Adler der Argelander'ſchen Tafel iſt kein anderer als der von mir η im Antinous genannte. Aus den Zahlen beider Tafeln für die Dauer der Perioden kann man entnehmen, zwiſchen welchen Grenzen ſolche Beſtimmungen ſchwanken können, wenn ſie von verſchiedenen Aſtronomen gemacht werden.

Verzeichniß der veränderlichen Sterne von Argelander[30]).

Namen der Sterne.	Dauer der Periode. T. St. Min.	Helligkeit im Maximum. Gr.	Gr.	Minimum. Gr.	Gr.	Namen des Entdeckers und Zeit der Entdeckung.	
o im Wallfiſch	331 20 —	4—2.1		0		Holwarda	1639
β im Perſeus	2 20 49	2.3		4		Montanari	1669
χ im Schwan	406 1 30	6.7—	4	0		Gottfr. Kirch	1687
30 in der Waſſerſchl. (H.)	495 — —	5—	4	0		Maraldi	1704
R im Löwen	312 18 —	5		0		Koch	1782
η im Adler	7 4 14	3.4		5.4		Pigott	1784
β in der Leyer	12 21 45	3.4		4.5		Goodricke	1784
δ im Cepheus	5 8 49	4.3		5.4		Goodricke	1784
α im Herkules	66 8 —	3		3.4		W. Herſchel	1795
R in der Krone	323 — —	6		0		Pigott	1795
R im Schild	71 17 —	6.5—5.4	9—	6		Pigott	1795
R in der Jungfrau	145 21 —	7—6.7		0		Harding	1809
R im Waſſermann	388 13 —	9—6.7		0		Harding	1810
R in der Schlange	339 — —	6.7		0		Harding	1826

Namen der Sterne.	Dauer der Periode. T. St. Min.	Helligkeit im Maximum. Gr.	Helligkeit im Minimum. Gr.	Gr.	Namen des Entdeckers und Zeit der Entdeckung.	
S in der Schlange	367 5 —	8—7.8		0	Harding	1828
R im Krebs	380 — —	7		8	Schwerd	1829
α in der Caſſiopeja	79 3 —	2		3.2	Birt	1831
α im Orion	196 0 —	1		1.2	J. Herſchel	1836
α in der Waſſerſchlange	55 — —	2		2.3	J. Herſchel	1837
ε im Fuhrmann	?	3.4		4.5	Heis	1846
ζ in den Zwillingen	10 3 35	4.3		5.4	Schmidt	1847
β im Pegaſus	40 23 —	2		2.3	Schmidt	1848
R im Pegaſus	350 — —	8		0	Hind	1848
S im Krebs	?	7.8		0	Hind	1848

Sechzehntes Kapitel.

Wer zuerſt die veränderlichen Sterne erwähnt hat.

Die allererſte Beobachtung der Helligkeitsänderung eines veränderlichen Sternes reicht etwa drittehalb Jahrhunderte zurück.

Im Jahre 1596, am 13. Auguſt, bemerkte David Fabricius am Halſe des Wallfiſches einen Stern dritter Größe, der im October deſſelben Jahres verſchwand [31]).

Im Jahre 1603 zeichnete Bayer am Halſe des Wallfiſches, an derſelben Stelle, wo der Stern des David Fabricius verſchwunden war, einen Stern vierter Größe, dem er den Buchſtaben o des griechiſchen Alphabets beilegte.

Da Bayer bei ſeiner Beobachtung, nämlich bei der Wiedererſcheinung von o im Wallfiſche, ſich nicht der Beobachtung des Verſchwindens, die David Fabricius angeſtellt hatte, erinnerte, ließ er die Gelegenheit vorübergehen, ſeinen Namen an eine der ſchönen Entdeckungen der neueren Aſtronomie zu knüpfen.

Mir ſcheint daß dieſe Entdeckung einem gelehrten Holländer gehört, Johann Phocylides Holwarda, Profeſſor zu Franecker [32]).

Dieſer Aſtronom bemerkte den Stern im Wallfiſch, im Anfang December 1638, während einer Mondfinſterniß: der Stern übertraf

damals an Helligkeit die Sterne dritter Größe. Als er in der Tageshelle verschwand war sein Licht schon bis zur vierten Größe gesunken. In der Mitte des Sommers von 1639 konnte Holwarda keine Spur davon wiederfinden; später aber, am 7. November 1639, sah er ihn an seinem früheren Orte.

So bewies also Phochlides Holwarda durch seine eigenen Beobachtungen, daß gewisse Sterne in periodischem Wechsel verschwinden und wieder sichtbar werden können.

Auf die Beobachtungen Holwarda's folgen die des Fullenius, der ebenfalls Professor zu Franecker war. Im Jahre 1641 begann die Sichtbarkeit des Sternes erst am 23. September. Ein Jahr darauf, am 23. September, nahm man ihn wieder wahr; im August 1644 erkannte man keine Spur desselben. Jungius notirte im Februar 1647 die dritte Größe, und suchte von Juli bis November 1648 vergeblich nach dem Sterne. Darauf kamen die beharrlichen, genauen, ins Einzelne gehenden Beobachtungen von Hevel. Die erste Reihe derselben umfaßte die Jahre 1648 bis 1662; sie ist mitgetheilt in einer Abhandlung die den Titel führt: Historiola mirae stellae [33]). Im Laufe dieser funfzehn Jahre war der „wunderbare" Stern mehrmals dritter Größe und mehrmals unsichtbar gewesen, und so fand sich die merkwürdige Folgerung unwiderleglich bestätigt, welche Holwarda aus seinen ersten Beobachtungen gezogen hatte. Wegen dieser eigenthümlichen Aenderungen seines Glanzes hat man dem Sterne auch den Namen Mira gegeben; außerdem nennt man ihn auch Mira Ceti nach der lateinischen Bezeichnung des Wallfisches.

Siebzehntes Kapitel.

Genauere Nachrichten über o im Wallfisch.

Man kann fragen ob der Stern o im Wallfisch eine ganze Periode der Zunahme und der Abnahme seiner Lichtstärke stets in derselben Zeit vollbringt, und wie groß in diesem Falle die Dauer der Pe-

riode ist; ob ferner die Zunahmen und Abnahmen gleich schnell vor sich gehen; wie viele Tage der Stern in seinem größten Glanze verweilt, und wie lange er unsichtbar bleibt; ob er sich endlich in den verschiedenen Maximis stets in gleichem Glanze zeigt? Diese Fragen waren kaum aufgestellt, und man war noch sehr weit von ihrer Beantwortung entfernt, als Bullialdus im Jahre 1667 sich mit ihnen zu beschäftigen begann.

Aus einer sorgfältigen Discussion von Beobachtungen, welche die Zwischenzeit von 1638 bis 1660 umfaßten, leitete der Verfasser der Astronomia Philolaica folgende Ergebnisse her[34]):

Die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Eintritten des größten Glanzes oder des Verschwindens von o im Wallfisch beträgt 333 Tage.

Etwa 15 Tage lang bleibt der Stern fast unverändert in seiner größten Lichtstärke.

Ueberdies erkannte Bullialdus noch, daß der Zeitpunkt, wo der Stern nach seinem Verschwinden die sechste Größe wieder zu erreichen beginnt, zugleich der Zeitpunkt seiner schnellsten Helligkeitsänderung ist.

Es ergab sich endlich noch Folgendes:

Der veränderliche Stern im Wallfisch erreicht nicht in allen Perioden dieselben Größen; bisweilen steigt er bis zur zweiten, häufiger bleibt er bei der dritten Größe stehen;

Die Dauer seiner Sichtbarkeit ist veränderlich, und zwar in so hohem Grade, daß man in gewissen Jahren den Stern nur drei Monate nach einander erblickte, in andern Jahren dagegen länger als vier Monate;

Die Zeitdauern der Lichtzunahme und der Lichtabnahme sind keineswegs immer gleich; mitunter braucht der Stern um von der sechsten Größe das Maximum seiner Lichtstärke zu erreichen mehr, mitunter weniger Zeit, als um von diesem Maximum, bei der Lichtabnahme, bis zur sechsten Größe herabzusinken.

Ich hielt es für Pflicht die Geschichte der Entdeckungen, welche im XVII. Jahrhundert in Bezug auf die periodischen Helligkeitsänderungen gewisser Sterne gemacht worden sind, ausführlich mitzutheilen;

denn meiner Anſicht nach ſind die vorzüglichſten Lehrbücher der Aſtronomie in dieſem Punkte etwas unbeſtimmt und unklar.

Dieſe ſeltſame Erſcheinung erregte früh und aufs Lebhafteſte die Aufmerkſamkeit Herſchel's. Die erſte Abhandlung, welche dieſer berühmte Beobachter der Königlichen Societät zu London vorlegte, und die in den Philosoph. Transactions erſchien [35]), behandelt gerade die Lichtveränderungen des Sternes *o* im Halſe des Wallfiſches. Dieſe Abhandlung war datirt von Bath, im Mai 1780. Elf Jahre ſpäter, im Monat December 1791, machte Herſchel der berühmten engliſchen Geſellſchaft eine zweite derartige Mittheilung [36]), diejenigen Bemerkungen enthaltend, die ſich ihm dargeboten hatten, wenn er ſeine Fernröhre bisweilen auf den geheimnißvollen Stern richtete. Beide Mal hatte der Beobachter ſeine Aufmerkſamkeit vorzüglich auf die abſoluten Werthe der Maxima und Minima in der Helligkeit gerichtet, und die Reſultate waren von Wichtigkeit.

Maxima.

Im October 1779 erreichte der Stern beinahe die erſte Größe (er übertraf α im Widder und war wenig geringer als Aldebaran.

Im Jahre 1780 ging er nicht über die dritte Größe hinaus (er glich an Helligkeit dem Sterne δ im Wallfiſch).

Im Jahre 1781 blieb er gegen 1780 etwas zurück (ſtets ſchwächer als δ im Wallfiſch).

Im Jahre 1782 ſtieg er im größten Glanze bis zur zweiten Größe (er war ſo hell als β im Wallfiſch).

Im Jahre 1783 nicht ganz dritter Größe (weniger hell als δ im Wallfiſch).

Im Jahre 1789 dritter bis zweiter Größe (ein wenig heller als α im Widder).

Am 21. October 1790 zweiter bis dritter Größe (faſt α im Wallfiſch gleich).

Minima.

Am 20. October 1777 unſichtbar.

Im Jahre 1783 unſichtbar, ſelbſt in einem Fernrohr, welches die Sterne 10. Größe zeigte.

Im Jahre 1784 beobachtete Herſchel den Stern mit ſeinem 20füßigen Fernrohr, zu einer Zeit, wo er nicht über 8. Größe war.

Dauer des Glanzes.

Im Jahre 1779 einen ganzen Monat.

Im Jahre 1782 länger als zwanzig Tage.

Aus vorstehender Darstellung geht hervor, daß der Stern nicht jedesmal zu derselben Lichtstärke zurückkehrt. (Dies findet man schon, wie oben bemerkt wurde, aus den alten Beobachtungen. Hevel behauptete sogar, der Stern sei vom October 1672 bis zum 3. December 1676 unsichtbar gewesen.)

Es war bereits bekannt, daß der Stern zur Zeit seines kleinsten Lichtes den Astronomen für ein mittleres Fernrohr gewöhnlich verschwand, und um so mehr für die Beobachtung mit bloßem Auge verschwinden mußte; doch war nicht bewiesen, daß er auch für die mächtigsten Fernröhre verschwindet. In dieser Beziehung sind Herschel's Beobachtungen von wirklichem Interesse.

Die Beobachtungen zu Slough während der Jahre 1779 und 1782 würden schon für sich allein den Beweis liefern, daß die Dauer des Glanzes nicht immer dieselbe ist; aber mit noch größerer Bestimmtheit geht dies aus der Vergleichung der alten und neuen Beobachtungsdaten hervor.

Herschel fand, wie schon gesagt:

Die größte Helligkeit währt mitunter einen ganzen Monat (im Jahre 1779), und länger als zwanzig Tage (im Jahre 1782).

Bullialdus hatte diese Dauer auf nur vierzehn Tage festgesetzt.

Nach seiner Untersuchung brauchte der veränderliche Stern im Wallfische 333 Tage, um zu seinem größten Glanze zurückzukehren.

Jean-Dominique Cassini machte diese Periode einen Tag länger. Unter der Voraussetzung, daß zwischen dem 13. August 1596, dem Tage der Beobachtung des Fabricius, und dem 1. Januar 1678, dem Tage eines beobachteten größten Glanzes 89 ganze Perioden verflossen waren, erhielt er durch Division der 29725 inzwischen verflossenen Tage mit 89 zum Quotienten 334 Tage statt der 333, die man vor ihm erhalten hatte.

Indessen stimmt diese Periode von 334 Tagen nach Herschel nicht mit den gegen Ende des 18. Jahrhunderts beobachteten Epochen des größten Lichtes, selbst wenn man den Ausgangspunkt auf den im August 1703 beobachteten größten Glanz verlegt. Herschel war der Ansicht,

man könne die verschiedenen Beobachtungsdaten des größten Glanzes in den akademischen Sammlungen untereinander nur dann in annehmbarer Weise vereinigen, wenn man eine noch kürzere Periode als die des Bullialdus annehme; dieser Periode gab er 331 Tage. Eine so kurze Periode würde auf die Beobachtungen von 1596 und 1678 den Verdacht sehr beträchtlicher Irrthümer werfen, gleichviel ob zwischen beiden Epochen 89 oder 90 Maxima des Lichtes eingetreten wären.

Es würde sich nun noch als Ausweg die Annahme darbieten, daß die Zwischenzeit zwischen zwei Eintritten des größten Glanzes nicht in allen Jahrhunderten dieselbe bleibt; aber wenn dies der Fall ist, warum will man die Rechnung durch Mittelwerthe führen? warum will man in den Rechnungen eine Genauigkeit voraussetzen, von welcher die Beobachtungen weit entfernt sind? warum beschränkt man sich nicht darauf, die Dauer der Periode für jede Epoche nach den so nahe als möglich liegenden Beobachtungen zu bestimmen?

Argelander's Beobachtungen und Rechnungen haben die periodischen Erscheinungen von *o* im Wallfische in einem ganz neuen Lichte gezeigt. Dieser geniale Astronom findet, daß diejenige Dauer der Periode, welche alle Helligkeitsstufen des Sternes umfaßt, im Mittel 331 Tage 15 Stunden 7 Minuten beträgt, daß aber diese Dauer einer Zu- und Abnahme unterliegt, welche 88 Perioden umfaßt [37]). Als Wirkung dieser Aenderung würde eine abwechselnde Verlängerung und Verkürzung von 25 Tagen in der Rückkehr des Sternes zu demselben Glanze auftreten.

Achtzehntes Kapitel.

Der veränderliche Stern in der Krone.

Argelander zufolge ändert sich bisweilen der veränderliche Stern, den Pigott in der Krone entdeckt hat, zwischen seinem *größten* und *kleinsten* Lichte so wenig, daß das Auge nicht mit Sicherheit entscheiden kann, ob sich dies Gestirn in dieser oder jener Phase befindet.

Indeſſen nach einigen Jahren ſolcher kaum merklichen Schwankungen werden die Aenderungen ſo beträchtlich, daß der Stern in ſeinem Minimum vollſtändig verſchwindet[38]).

Neunzehntes Kapitel.

Der veränderliche Stern im Herkules.

Der veränderliche Stern im Wallfiſche iſt nicht der einzige periodiſche Stern, mit welchem ſich William Herſchel beſchäftigt hat. Aus ſeinen Beobachtungen von 1795 und 1796 zog er den Beweis[39]), daß auch α im Herkules zur Gattung der veränderlichen Sterne gehört, daß derſelbe in ſeinem größten Glanze von der dritten, in ſeinem kleinſten von der vierten Größe iſt; endlich daß die Dauer der Periode, oder wenn man lieber will, die zum Durchlaufen aller Helligkeitsänderungen oder zur Rückkehr des Sternes zu einem beſtimmten Glanze erforderliche Zeit $60^1/_4$ Tage beträgt. Zu der Zeit, wo Herſchel zu dieſem Reſultate gelangte, kannte man ſchon etwa 10 veränderliche Sterne, aber alle waren entweder von ſehr langer oder von ſehr kurzer Periode.

Nach Argelander geſchieht es häufig, daß die Lichtſtärke von α im Herkules ganze Monate unverändert dieſelbe iſt; er glaubt man könne die Dauer der Periode auf 66 Tage 8 Stunden feſtſetzen.

Zwanzigſtes Kapitel.

β in der Leyer.

Die Reſultate welche Argelander aus den Erſcheinungen, die β in der Leyer darbietet, hergeleitet hat, ſind gänzlich verſchieden von denen Goodricke's. Der bonner Aſtronom findet, daß die Epochen der Rückkehr dieſes Sternes zu derſelben Helligkeit 12 Tage 21 Stunden 53 Minuten 10 Secunden auseinander liegen. In dieſe Periode von

12 Tagen fallen zwei Maxima und zwei Minima; und zwar zeigt sich der Stern in beiden Fällen größten Glanzes von der dritten bis vierten Größe, ist aber ungleich hell in den beiden Fällen kleinsten Lichtes. Der ungemein große Unterschied vom Einfachen zum Doppelten, den man zwischen den Resultaten von Goodricke und Argelander findet, wird sich durch die Annahme erklären, daß der englische Beobachter, indem er die zweifache Veränderung des Glanzes, die in einer ganzen Periode vor sich geht, übersah, die Zeiten der Durchgänge des Sternes durch zwei benachbarte Eintritte des größten Glanzes verglich. Dies Verfahren mußte ihm offenbar nicht die Dauer einer ganzen Periode, sondern die Dauer eines Bruchtheils derselben ergeben. In einem der Minima ist der Stern vierter bis fünfter, im andern ist sein Glanz der eines Sternes dritter bis vierter Größe. Schließlich wollen wir zu diesen merkwürdigen Umständen noch die Bemerkung hinzufügen, daß sich die Periode nach den Untersuchungen des bonner Astronomen, seit der Zeit der Entdeckung im Jahre 1784 bis zum Jahre 1840 langsam vergrößert hat, und daß sie seit dieser letzteren Epoche eine kleine Verkürzung erlitten zu haben scheint[40]).

Einundzwanzigstes Kapitel.

Algol.

Algol im Meduſenhaupte oder β im Perseus ist meist zweiter Größe, aber bisweilen nimmt dieser Stern bis zur vierten Größe an Glanz ab; der Uebergang von einem dieser Helligkeitsgrade zum andern geschieht ungefähr in drei und einer halben Stunde: in gleichem Zeitraume kehrt Algol von der vierten zur zweiten Größe zurück. In der Gegend des größten und des kleinsten Glanzes geschieht die Helligkeitsänderung nur langsam; sie ist dagegen schnell in einem gewissen, zwischen den beiden Extremen belegenen Zeitpunkte, nämlich wenn Algol in ab- oder zunehmendem Lichte durch die dritte Größe hindurchgeht.

Wie schon die oben von mir aufgestellte Tabelle lehrt (S. 334), waren die Helligkeitsänderungen des Sternes Algol schon im Jahre 1669 von Montanari und Maraldi wahrgenommen worden. Die genaue Bestimmung der Periode verdankt man Goodricke.

Aus den Beobachtungen und Rechnungen von Argelander, Heis und Schmidt scheint hervorzugehen, daß die Dauer der Algolperiode seit den ältesten Beobachtungen bis auf die Gegenwart abgenommen hat; daß aber diese Abnahme nicht gleichförmig fortschreitet, sondern gegenwärtig beträchtlich wächst[41]). Auf diese Abnahme der Dauer der Periode wird vermuthlich während einer gewissen Zeit eine Verlängerung derselben folgen, und in dieser Weise ein periodischer Wechsel fortbestehen. Das kleinste Licht Algol's trat am 3. Januar 1844, um $4^h\ 5^m$ mittlerer pariser Zeit ein.

Zweiundzwanzigstes Kapitel.

η im Schiffe Argo.

Häufig habe ich Klagen darüber vernommen, daß Erscheinungen wie die von 1572 und 1604 sich seit Erfindung der Fernröhre nicht wieder gezeigt haben, d. h. seit der Zeit, wo man die Mittel besitzt, sie sehr genau zu beobachten. Heutigen Tags würde dies Bedauern grundlos sein, denn der Südhimmel bietet gegenwärtig einen Stern dar, dessen Veränderungen durch ihre Eigenthümlichkeiten Alles weit zurücklassen, was die vorübergehenden Sterne Tycho's und Keppler's diesen beiden großen Beobachtern gezeigt haben. Der Stern den ich meine ist η Argûs.

Die nachfolgenden Einzelnheiten entlehne ich meinem Freunde Alexander von Humboldt[42]).

„Schon Halley, als er 1677 von seiner Reise nach der Insel St. Helena zurückkehrte, äußerte viele Zweifel über den Lichtwechsel der Sterne des Schiffes Argo, besonders am Schilde des Vordertheils und am Verdecke, deren relative Größenordnung Ptolemäus angegeben

hatte*); aber bei der Ungewißheit der Sternpoſitionen der Alten, bei den vielen Varianten der Handſchriften des Almageſt und den unſicheren Schätzungen der Lichtſtärke konnten dieſe Zweifel zu keinen Reſultaten führen. Halley hatte η Argûs 1677 vierter, Lacaille 1751 bereits zweiter Größe gefunden. Der Stern ging wieder zu ſeiner früheren, ſchwächeren Intenſität zurück, denn Burchell fand ihn während ſeines Aufenthalts im ſüdlichen Afrika (1811 bis 1815) von der vierten Größe. Fallows und Brisbane ſahen ihn 1822 bis 1826 zweiter; Burchell, der ſich damals (Februar 1827) zu S. Paulo in Braſilien befand, erſter Größe, ganz dem α Crucis gleich. Nach einem Jahre ging der Stern wieder zur zweiten Größe zurück. So fand ihn Burchell in der braſilianiſchen Stadt Goyaz am 29. Febr. 1828, ſo führen ihn Johnſon und Taylor von 1829 bis 1833 in ihren Verzeichniſſen auf. Auch Sir John Herſchel ſchätzte ihn am Vorgebirge der guten Hoffnung von 1834 bis 1837 zwiſchen zweiter und erſter Größe.

„Als nämlich am 16 December 1837 dieſer berühmte Aſtronom ſich eben zu photometriſchen Meſſungen von einer Unzahl teleſkopiſcher Sterne elfter bis ſechzehnter Größe rüſtete, welche den herrlichen Nebelfleck um η Argûs füllen, erſtaunte er, dieſen oft vorher beobachteten Stern zu einer ſolchen Intenſität des Lichtes angewachſen zu finden, daß er faſt dem Glanze von α Centauri gleich kam und alle anderen Sterne erſter Größe außer Canopus und Sirius an Glanz übertraf. Am 2 Januar 1838 hatte er dieſes Mal das Maximum ſeiner Helligkeit erreicht. Er wurde bald ſchwächer als Arcturus, übertraf aber Mitte April 1838 noch Aldebaran. Bis März 1843 erhielt er ſich in der Abnahme, doch immer als Stern erſter Größe; dann, beſonders im April 1843 nahm wieder das Licht ſo zu, daß nach den Beobachtungen von Mackay in Calcutta und Maclear am Cap η Argûs glänzender als Canopus, ja faſt dem Sirius gleich wurde**). Dieſe hier bezeichnete Licht-Intenſität hat der Stern faſt noch bis zu dem Anfang

*) Delambre, Histoire de l'Astr. ancienne. T. II. p. 280 und Hist. de l'Astr. au 18. siècle p. 119. (v. H.)

**) Vergl. Sir John Herſchel in der Capreiſe §. 71—78 und Outlines of Astr. §. 880 (Kosmos Bd. I. S. 160 und 416). (v. H.)

des laufenden Jahres behalten. Ein ausgezeichneter Beobachter, Lieutenant Gilliß, der die aſtronomiſche Expedition befehligt, welche die Regierung der Vereinigten Staaten an die Küſte von Chili geſchickt hat, ſchreibt von Santiago im Februar 1850: η Argûs mit ſeinem gelblich rothen Lichte, welches dunkler als das des Mars iſt, kommt jetzt dem Canopus an Glanz am nächſten, und iſt heller als das vereinigte Licht von α Centauri."

So währen alſo die ſchnellen Aenderungen in der Lichtſtärke von η im Schiffe bereits ſieben Jahre, ohne daß es gelungen wäre ſie unter ein einfaches und regelmäßiges Geſetz zu bringen.

Die bereits oben (im 15. Kap. S. 336) von mir mitgetheilten Tafeln enthalten bei Weitem nicht alle Sterne, an welchen periodiſche Aenderungen der Helligkeit erkannt worden ſind; ich muß noch hinzufügen, daß unter den Sternen, welche wir zur Zahl der verſchwundenen gerechnet haben, ſich mehrere befinden, die vielleicht in Zukunft unter die periodiſchen gehören werden.

Dreiundzwanzigſtes Kapitel.

Erklärung der Helligkeitsänderungen bei den veränderlichen Sternen.

Die erſte und früheſte der Erklärungsweiſen für die Aenderungen, welche man in der Helligkeit der veränderlichen Sterne aufgeſtellt hat, iſt die von Bullialdus; ſie beſteht in der Annahme, daß die veränderlichen Sterne nicht auf ihrer ganzen Oberfläche in gleichem Grade leuchtend ſind, und ſich dergeſtalt um ihre eigenen Axen drehen, daß ſie der Erde abwechſelnd ihre ganz leuchtenden und ihre mehr oder weniger durch Flecken verdunkelten Halbkugeln zuwenden. In einer 19 Seiten ſtarken, im Jahre 1667 erſchienenen Abhandlung denkt ſich Bullialdus o im Wallfiſche als eine mit regelmäßiger und fortwährender Rotation um einen ihrer Durchmeſſer begabte Kugel. Indem er zu dieſer erſten Annahme noch die Vorausſetzung hinzufügte, dieſe Kugel ſei auf dem größten Theile ihrer Oberfläche dunkel, auf dem übrigen

Theile leuchtend, glaubte der französische Astronom von allen Umständen der Lichtphasen Rechenschaft geben zu können.

Einer andern Erklärung zufolge würde der Stern nicht nothwendigerweise mit Rotationsbewegung begabt zu sein brauchen. Seine vollständigen oder theilweisen Verdunkelungen und seine scheinbaren Helligkeitsänderungen würden Wirkungen des mehr oder weniger vollständigen Dazwischentretens eines dunkeln Körpers zwischen Stern und Erde sein, der sich um den periodischen Stern in der Weise bewegt, wie in unserm Systeme die Erde um die Sonne.

Endlich gibt es nach einer Maupertuis'schen Vermuthung unter den zahllosen Sternen auch sehr abgeplattete oder mühlsteinförmige, die uns bald ihre schmale, bald ihre breite Seite zuwenden[43]); dies soll, behauptet dieser astronomische Schriftsteller, zur Erklärung der Helligkeitsänderung vollkommen ausreichen.

Alle drei Annahmen können den allgemeinen Zusammenhang der beobachteten Erscheinungen gleich gut erklären. Ist dies aber auch im Einzelnen der Fall? Hierin liegt gerade der Prüfstein für jede Theorie. Diese Einzelheiten der Erscheinung sind es besonders, die man heutigen Tages bei der Frage über die veränderlichen Sterne in's Auge zu fassen hat; durch täglich und in kurzen Zwischenräumen angestellte Intensitäts-Beobachtungen wird man entscheiden, ob es nicht in einzelnen Fällen nothwendig sein möchte bald zu der einen, bald zu der andern Erklärungsweise, vielleicht sogar zu einer Verbindung derselben zu greifen; ob ferner die Erscheinungen nicht beträchtliche und schnelle Aenderungen andeuten, entweder in der Lage der Umdrehungspole der Sterne oder in der Lage derjenigen Ebenen, in welchen die Bahnen der dunkeln, umlaufenden Planeten liegen. Ganz besonders werden diese verschiedenen Möglichkeiten den periodischen Aenderungen gegenüber verfolgt werden müssen, welche Argelander in der Dauer der Perioden erkannt hat.

Hind hat die Aufmerksamkeit der Astronomen auf die Thatsache gelenkt, daß die veränderlichen Sterne, unter ihnen vorzüglich die schwächeren, durchgehend röthlich erscheinen. Vielleicht steht diese Bemerkung mit einer andern Beobachtung desselben Astronomen im Zusammenhange, derzufolge die veränderlichen Sterne zur Zeit ihres

kleinſten Lichtes von einer Art Nebel umgeben zu ſein ſcheinen[44]). Wäre das Vorhandenſein dieſes Nebels erwieſen, ſo wäre man auf dem Wege zur Erklärung dieſer merkwürdigen Erſcheinungen. Möglicherweiſe würde man zu dem Schluſſe gelangen, daß die Lichtveränderungen eines Sternes nicht von einem vollkommen dunkeln Planeten herrühren, der ſich um den Stern bewegt, ſondern von kosmiſchem Gewölke, das infolge einer ähnlichen Umlaufsbewegung von Zeit zu Zeit zwiſchen dieſe Geſtirne und die Erde tritt.

Vierundzwanzigſtes Kapitel.

Wichtigkeit der Beobachtung der veränderlichen Sterne.

Bei Abfaſſung einer ſo ausführlichen Geſchichte der veränderlichen Sterne war ich von der Anſicht geleitet, nach meinen Kräften die Aufmerkſamkeit der aſtronomiſchen Dilettanten auf dieſen Gegenſtand zu lenken. Ihrer beſondern Beachtung wollte ich eine ſehr ergiebige Fundgrube bezeichnen, mit welcher ſich die durch andere Arbeiten abgezogenen Aſtronomen nur wenig beſchäftigt haben, und die ſich, wie ich glaube, ohne Hülfe eines großen Inſtruments ausbeuten läßt: ein gewöhnliches Fernrohr wird genügen. Mehr bedarf es nicht, um in Regionen einzudringen, die in enger Verbindung mit den größten und tiefſten Unterſuchungen ſtehen, welche die neueren Wiſſenſchaften darbieten. Einige kurze Erläuterungen werden dies rechtfertigen, und zugleich zeigen, wie ſehr man irren würde, wollte man das Studium der Lichtveränderungen gewiſſer Sterne als einen Gegenſtand bloßer Neugier betrachten.

Fünfundzwanzigstes Kapitel.

Die Lichtstrahlen verschiedener Farbe durchlaufen die Himmelsräume mit gleicher Geschwindigkeit.

Weißes Licht besteht aus verschieden gefärbten Strahlen: bewegen sich diese im Raume mit gleicher Geschwindigkeit? Kaum ließe sich ein physikalisches Problem angeben, dessen Lösung zu bestimmteren Folgerungen über die Beschaffenheit der Himmelsräume führen würde. Die Beobachtungen der periodischen Sterne gestatten eine vollständige Beantwortung dieser Frage.

Ohne uns in diesem Augenblicke mit der physikalischen Ursache zu beschäftigen, welche die Lichtveränderungen des Sternes *o* im Wallfische bedingt, läßt sich zuverlässig behaupten, daß uns dieser Stern zu gewissen Zeiten viel Licht, zu andern Zeiten kein Licht oder fast kein Licht sendet; und endlich auch daß der Uebergang vom zweiten Zustande zum ersten allmälich und mit ziemlicher Geschwindigkeit geschieht.

Der Stern, von dem ich annehme er sende heute keinen Strahl zur Erde, wird einige Zeit darauf leuchtend. Alsdann schickt er uns weiße Strahlen, denn seine natürliche Farbe ist weiß; oder mit andern Worten, wenn mir der Vergleich erlaubt ist, in jedem Augenblicke schickt er uns gleichzeitig sieben verschieden gefärbte Couriere. Ist der rothe Courier der schnellere, so wird dieser zuerst mit der Nachricht vom Wiedererscheinen des Sternes eintreffen; die Wiedererscheinung wird also mit röthlichem Lichte beginnen. Nach und nach wird sich diese Färbung ändern, je nach dem Eintreffen der andern prismatischen Farben, des Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violet, und diese Farben werden sich dem vorangegangenen Roth beimischen. Die verschiedenen Färbungen eines entstehenden Sternes werden demnach folgende sein: zuerst die Mischung von roth und orange; dann die der beiden ersteren Farben mit gelb; hierauf die Farbe aus der Verbindung der drei vorangehenden mit grün; ferner das Ergebniß aus der Verbindung der vier Farben kleinster Brechbarkeit zunächst mit blau allein; dann mit blau, indigo und violet, woraus endlich die weiße Farbe hervorgeht. Die umgekehrte Reihenfolge wird beim Verschwinden eingehalten werden.

Sind dies im Allgemeinen die Vorgänge beim Erscheinen und beim Verschwinden eines weißen, veränderlichen Sternes, in dem Falle wo sich die verschieden gefärbten Strahlen mit ungleichen Geschwindigkeiten bewegen; so ist umgekehrt ebenso einleuchtend, daß wenn rothe, grüne, violette und andere Strahlen sich mit gleicher Geschwindigkeit im Raume fortbewegen, der veränderliche Stern ununterbrochen weiß erscheinen muß, vom ersten Aufglimmen an bis zum größten Lichte, und während der Abnahme vom größten Lichte an bis zum Verlöschen.

Was hat zwischen so unähnlichen Erscheinungen die Beobachtung entschieden?

Seitdem ich auf den Gedanken gekommen war, daß die veränderlichen Sterne die Entscheidung der so bestrittenen Frage vermitteln könnten, ob die verschieden gefärbten Lichtstrahlen gleiche oder ungleiche Geschwindigkeit besäßen, habe ich häufig weiße, periodische Sterne in allen Helligkeitsstufen geprüft, ohne eine deutliche Färbung zu bemerken. Außerdem habe ich mir die Ueberzeugung verschafft, daß von den neueren Astronomen, die sich mit derartigen Untersuchungen beschäftigt haben, keiner bei den Lichterscheinungen irgend eines veränderlichen Sternes wirkliche Färbungen erwähnt hat. Die Zeugnisse sind um so werthvoller, als Maraldi, Herschel, Goodricke, Pigott u. A. beim Anstellen ihrer Beobachtungen keineswegs an den Nutzen dachten, den man daraus für die Beantwortung derjenigen Fragen erlangen könnte, welche sich auf die Geschwindigkeit des Lichtes der verschiedenen Farben im Spectrum beziehen.

Es würde an dieser Stelle nicht geeignet sein den Grad der Genauigkeit zu bestimmen, der sich durch diese Methode bei diesem oder jenem veränderlichen Sterne erreichen ließe; ich begnüge mich mit der Angabe, daß diese Genauigkeit sehr groß ist, und will noch einige merkwürdige Anwendungen mittheilen, zu denen das Ergebniß Gelegenheit bietet.

Von den Fragen, die mit Hülfe der Beobachtungen der veränderlichen Sterne untersucht werden können, werde ich nur die zwei folgenden anführen:

1, Die Bestimmung der Dichtigkeitsgrenze, welche der die Himmelsräume erfüllende Stoff nicht überschreiten kann.

II. Aus den Beobachtungen der Verfinsterungen der Jupitersmonde kennt man die Geschwindigkeit des von der Materie dieser Monde reflectirten Sonnenlichtes; wenn es nun gelingt die Intensitätsmessungen des Lichtes der veränderlichen Sterne einigermaßen zu vervollkommnen, so wird man eine directe Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit eines veränderlichen Sternes erhalten, die von dem beobachteten Phänomen unabhängig ist. Mit dieser letzteren Frage werde ich mich in demjenigen Buche beschäftigen, das der Geschichte der Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit gewidmet sein wird; hier will ich nur die auf die Dichtigkeit des Aethers gerichtete Frage behandeln.

Sechsundzwanzigstes Kapitel.

Obere Grenze für die Dichtigkeit des Aethers.

Im Newton'schen Emissionssysteme, dem einzigen, das ich für den Augenblick in's Auge fasse, durchdringen die verschieden gefärbten Lichtstrahlen feste, flüssige oder gasförmige, durchsichtige Körper mit verschiedenen Geschwindigkeiten. Im leeren Raume sind stets die rothen Strahlen die geschwindesten, und die violetten die langsamsten; die orangefarbenen, die gelben, grünen, blauen und indigofarbenen besitzen mittlere Geschwindigkeiten zwischen denen der rothen und der violetten Strahlen.

Der Unterschied in der Geschwindigkeit ist bei den verschiedenen Strahlen des Spectrums nicht constant, ändert sich vielmehr mit der Natur und mit der Dichtigkeit der durchlaufenen Mittel.

Daß die Himmelsräume von einem sehr wenig dichten Stoffe erfüllt sind, darüber findet keine Meinungsverschiedenheit statt. Diesen Stoff können wir in seinen brechenden Eigenschaften den irdischen Gasen gleich setzen, in welchen beispielsweise die rothen und die blauen Strahlen die geringste Verschiedenheit der Geschwindigkeit haben. Wir können nun untersuchen, welche Dichtigkeit dieses Gas besitzen müßte, damit zwei Lichtstrahlen, von denen der eine roth, der andere blau ist, und die in demselben Augenblicke von einem veränderlichen Sterne aus-

gehen, trotz der ungeheuer dicken, materiellen Schicht, und trotz des Weges, der nicht unter drei Jahre betragen kann, dennoch nahezu gleichzeitig auf der Erde ankommen. Die Lösung dieses einfachen physikalischen Problems wird die Einbildungskraft durch seine Kleinheit in Erstaunen setzen.

Auf Grund einer einfachen Farbenerscheinung die obere Grenze der Dichtigkeit zu ermitteln, welche der in den Himmelsräumen verbreitete Aether besitzen kann, dies schien mir eine Thatsache von solcher Merkwürdigkeit, daß dadurch diese Abschweifung gerechtfertigt wird.

Siebenundzwanzigstes Kapitel.

Neue oder kurzzeitige Sterne.

Mit dem Namen neuer Sterne bezeichnen wir alle diejenigen, welche nachdem sie sich plötzlich in einem gewissen Glanze gezeigt hatten, darauf allmälich erloschen sind, ohne jemals wieder sichtbar zu werden, obgleich mehrere Jahrhunderte seit ihrem Erscheinen verflossen.

Plinius berichtet, daß ein neuer zu Hipparch's Zeiten erschienener Stern in diesem großen Astronomen den Gedanken anregte, ein Verzeichniß oder eine Zählung aller der Sterne aufzustellen, die seiner Zeit am Himmel sichtbar waren.

Lange Zeit hindurch hat man diese Erzählung für willkürlich ersonnen gehalten; seitdem aber unsere Sinologen tiefer in die chinesische Literatur eingedrungen sind, ist man von diesem ersten Urtheile zurückgekommen. Wirklich hat Eduard Biot in der Sammlung des Matuan-lin gefunden[45]), daß die Chinesen im Jahre 134 vor unserer Zeitrechnung einen neuen Stern im Bilde des Skorpions beobachtet haben.

Das Datum dieser Erscheinung fällt sechs Jahre früher, als die Anfertigung des hipparchischen Sternkatalogs allgemein angenommen wird.

Folgendes sind nach verschiedenen Geschichtschreibern die Jahre der Erscheinungen einiger neuen und wiederverschwundenen Sterne[46]).

130 nach Chr. ein neuer Stern zur Zeit des Kaisers Hadrian.

Von 388 bis 398: Neuer Stern unterhalb des Adlers, zur Zeit des Kaisers Honorius.

Im 9. Jahrhundert: Außerordentlich heller Stern, beobachtet von Albumazar im 15. Grade des Skorpions.

945: Ein Stern wird zwischen Cassiopeja und Cepheus beobachtet, unter dem Kaiser Otto I.

1264: Ein Stern, der gleichfalls in der Cassiopeja erschien.

1572: Berühmter neuer Stern in der Cassiopeja, anhaltend beobachtet von Tycho-Brahe.

1604: Neuer Stern im Schlangenträger, von Keppler, Galilei u. A. beobachtet.

1670: Neuer Stern im Schwan, entdeckt vom Pater Anthelme.

Die Umstände unter denen diese neuen Sterne erschienen, sind für den Stern von 1572 auf's Genaueste von Tycho geschildert; den Stern von 1604 haben Galilei und besonders Keppler beschrieben. Ich will die Einzelheiten hier mittheilen, weil sie uns zu wahrscheinlichen Vermuthungen über die physische Constitution des Universums leiten können.

Achtundzwanzigstes Kapitel.

Neuer Stern von 1572.

Tycho de Brahe gibt davon folgende Beschreibung, welche ich dem dritten Bande des Kosmos entlehne[47]):

„Als ich von meinen Reisen in Deutschland nach den dänischen Inseln zurückkehrte, verweilte ich in dem anmuthig gelegenen ehemaligen Kloster Herritzwadt bei meinem Onkel Steno Bille, und hatte die Gewohnheit erst am Abend mein chemisches Laboratorium zu verlassen. Da ich nun im Freien nach gewohnter Weise den Blick auf das mir wohlbekannte Himmelsgewölbe richtete, sah ich mit nicht zu beschreibendem Erstaunen nahe am Zenith in der Cassiopeja einen strahlenden Fixstern von nie gesehener Größe. In der Aufregung glaubte ich mei-

nen Sinnen nicht trauen zu können. Um mich zu überzeugen, daß es keine Täuschung sei, und um das Zeugniß Anderer einzusammeln, holte ich meine Arbeiter aus dem Laboratorium und befragte alle vorbeifahrenden Landleute, ob sie den plötzlich auflodernden Stern eben so sähen als ich. Später habe ich erfahren, daß in Deutschland Fuhrleute und andere Leute aus dem Volke die Astronomen erst auf die große Erscheinung am Himmel aufmerksam machten, was dann die gewohnten Schmähungen auf gelehrte Männer erneuerte.

„Den neuen Stern fand ich ohne Schweif, von keinem Nebel umgeben, allen andern Fixsternen völlig gleich, nur noch stärker funkelnd als Sterne erster Größe. Sein Lichtglanz übertraf den des Sirius, der Leyer und des Jupiter. Man konnte ihn nur der Helligkeit der Venus gleich setzen, wenn sie der Erde am nächsten steht (wo dann nur ihr vierter Theil erleuchtet ist). Menschen, die mit scharfen Augen begabt sind, erkannten bei heiterer Luft den neuen Stern bei Tage, selbst in der Mittagsstunde. Zur Nachtzeit, bei bedecktem Himmel, wenn alle anderen Sterne verschleiert waren, wurde er mehrmals durch Wolken von mäßiger Dicke gesehen. Abstände von anderen nahen Sternen der Cassiopeja, die ich im ganzen folgenden Jahre mit vieler Sorgfalt maß, überzeugten mich von seiner völligen Unbeweglichkeit. Bereits im December 1572 fing die Lichtstärke an abzunehmen, der Stern wurde dem Jupiter gleich; im Jahre 1573 war er minder hell als Jupiter. Fortgesetzte photometrische Schätzungen gaben: für Februar und März Gleichheit mit Sternen erster Ordnung; für April und Mai Lichtglanz von Sternen zweiter, für Julius und August dritter, für October und November vierter Größe. Gegen den Monat November war der neue Stern nicht heller als der elfte im unteren Theile der Stuhllehne der Cassiopeja. Der Uebergang zur fünften und sechsten Größe fand vom December 1573 bis Februar 1574 statt. Im folgenden Monate verschwand der neue Stern, nachdem er 17 Monate lang geleuchtet, spurlos für das bloße Auge.“

Bei seinem ersten Erscheinen, solange er den Lichtglanz der Venus und des Jupiter hatte, war er zwei Monate lang weiß; dann ging er durch die gelbe Farbe in die rothe über. Im Winter 1573 vergleicht ihn Tycho mit Mars, dann findet er ihn fast mit der rechten Schulter

des Orion (Betelgeuze oder α im Orion) vergleichbar. Am meiſten glich ſeine Farbe der rothen Färbung des Aldebaran. Im Frühjahre 1573, beſonders im Mai, kehrte die weißliche Farbe zurück; ſo blieb er im Januar 1574 fünfter Größe und weiß, doch mit einer mehr getrübten Weiße; er funkelte im Verhältniſſe zu ſeiner Größe auffallend ſtark. Dies Anſehen behielt er bis zum völligen Verſchwinden im März 1574.

Neunundzwanzigſtes Kapitel.

Stern von 1604.

Wenden wir uns zu dem neuen Sterne von 1604, und unterſuchen wir, ob er plötzlich erſchien und wie lange Zeit er ſichtbar blieb.

Am 10. October 1604 erblickt ihn Joh. Brunowsky, ein Liebhaber der Aſtronomie zu Prag, auf einen Augenblick und gibt Keppler von der Erſcheinung Nachricht;
am 10. „ bemerkt ihn Magini;
am 10. „ „ „ Röslin;
am 13. „ beginnt Fabricius, in Friesland, ihn zu beobachten;
am 13. „ bemerkt ihn Juſtus Byrgius;
am 14. „ Mäſtlin;
am 17. „ nach eingetretener Aufheiterung zu Prag beobachtet ihn Keppler.

Dieſer Stern war weiß vom Tage ſeines Erſcheinens an, den 10. October 1604.

Er war größer als alle Sterne erſter Ordnung, größer als Mars, Jupiter und Saturn, in deren Nähe er ſtand.

Mehrere verglichen ihn mit Venus, aber Keppler hielt letztere für heller.

Diejenigen, welche den Stern von 1572 geſehen hatten, fanden daß der neue Stern jenen an Glanz übertraf.

In der zweiten Hälfte des Monats October schien er nicht schwächer an Licht zu werden.

Am 9. November hinderte das Licht der Dämmerung, welches Jupiter verlöschte, nicht die Wahrnehmung des neuen Sternes.

Am 16. November sah ihn Keppler zum letzten Male; als er aber gegen Ende December und zu Anfang Januar im Osten wiedererschien, hielt man zu Turin sein Licht für bedeutend schwächer; zwar übertraf es den Antares, aber den Arctur erreichte es nicht mehr.

Am 20. März 1605 wae der Stern scheinbar kleiner als Saturn; die Sterne dritter Größe im Schlangenträger übertraf er sehr merklich.

Am 21. April erschien er ebenso hell als der leuchtende Stern am Knie des Schlangenträgers, d. h. dritter Größe.

Am 12. und 14. Auguſt glich er dem Sterne vierter Größe am Beine dieses Bildes.

Am 13. September findet man ihn kleiner als letzteren Stern.

Am 8. October ist er zwar noch sichtbar, aber nur schwer der Dämmerung wegen.

Im März 1606 ist er ganz unsichtbar geworden.

Das vollständige Verschwinden des neuen Sternes von 1604 trat also ein zwischen Mitte October 1605 und Mitte März 1606. Setzen wir diese Erscheinung näherungsweise auf Anfang Januar 1606, so ergeben sich etwa funfzehn Monate als Dauer der Erscheinung des neuen Sternes im Schlangenträger[48]).

Dreißigstes Kapitel.

Sterne von 1670 und 1848.

Im Jahre 1670 bemerkte der Pater Anthelme im Kopfe des Fuchses, in ziemlicher Nähe bei β im Schwane, einen neuen Stern, der vor seinem gänzlichen Verschwinden, seltsam genug, mehrmals zu verlöschen und wieder aufzulodern schien. Seitdem hat man keine Spur davon wiedergesehen[49]).

Im Vorigen haben wir als neue Sterne nur diejenigen unter diese Gestirne gerechnet, welche durch großen Glanz alle Blicke auf sich zogen. Wollten wir aber zu viel weniger glänzenden Sternen hinabsteigen, so könnte unser Verzeichniß beträchtlich bereichert werden; wir könnten z. B. erzählen, daß Hind in der Nacht des 28. April 1848 einen Stern fünfter bis vierter Größe an einer Stelle des Schlangenträgers wahrnahm, deren Coordinaten damals $16^h\ 50^m\ 59^s$ Rectascension und $12^o\ 39'\ 16''$ südlicher Declination waren [50]).

Dieser geschickte Astronom glaubt versichern zu können, daß in der Zeit vor dieser Beobachtung an der Stelle kein Stern bis zur zehnten Größe vorhanden war. Von der Entdeckung an nahm dieser Stern, ohne seinen Ort zu verändern, an Glanz ab, und war nahezu verschwunden, als die Jahreszeit die Beobachtungen verhinderte; er war von röthlicher Farbe. Diese röthliche Farbe trifft man bei den sehr kleinen veränderlichen Sternen ziemlich gewöhnlich; doch lassen sich auch zahlreiche Beispiele vom Gegentheile anführen.

Einunddreißigstes Kapitel.

Ueber die verschiedenen Erklärungen, welche man von den neuen Sternen gegeben hat.

Als der neue (ich sage nicht periodische) und so glänzende Stern von 1572 unerwartet und plötzlich in der Cassiopeja erschien, war die peripatetische Lehre von der Unverderblichkeit (incorruptibilitas) des Himmels nicht in so starrer Weise angenommen, als man vermuthet hat. Mehrere Astronomen und unter ihnen Tycho-Brahe, behaupteten nämlich, dieser Stern sei das Ergebniß einer kürzlich entstandenen Zusammenballung der über den ganzen Weltraum ausgebreiteten Materie, und betrachteten ihn als eine neue Schöpfung. Für diese Vermuthung Tycho's schien der Umstand zu sprechen, daß alle neuen Sterne, deren die Geschichtschreiber erwähnen, entweder in der Milchstraße selbst, oder sehr nahe am westlichen Rande dieses lichten Streifens erschienen sind.

Scholaſtiſche und religiöſe Bedenken hielten viele Aſtronomen von der Meinung entfernt, zu der ſich Tycho bekannte. Die Himmel, behaupteten ſie, ſind durch einen einzigen Act in ganzer Vollkommenheit erſchaffen: Nichts kann ſich daran ändern, Nichts kann eine Wandelung erleiden. Der ſogenannte neue Stern war mithin ſo alt wie die Welt ſelbſt. An ſich entwickelte er deshalb im Jahre 1572 nicht helleren Glanz als in früheren Zeiten; nur war der Stern zur Zeit ſeiner Unſichtbarkeit beträchtlich entfernter von der Erde; blos einer beträchtlichen Annäherung an die Erde hatte es bedurft, um ihn ſichtbar und glänzend zu machen. Indem er darauf an ſeinen früheren Ort zurückkehrte, war er nach und nach ſchwächer geworden, bis er endlich gänzlich verſchwand. Dieſe Bewegungen, zunächſt auf die Erde zu, und dann in entgegengeſetzter Richtung, hatten genau in gerader Linie ſtattgefunden, weil der neue Stern im Laufe der ſechzehnmonatlichen Beobachtungen in aller Strenge denſelben Ort unter den alten, benachbarten Sternen einnahm.

Dies war die Erklärung, welche Hieronymus Fracaſtor, J. Dee und Elias Camerarius[51]) von der Erſcheinung und vom Verſchwinden des Sternes in der Caſſiopeja aufſtellten. Dieſen Vorſtellungen ſeiner Zeitgenoſſen glaubte Tycho einen ganz entſcheidenden Einwurf entgegenzuſtellen, indem er ſagte: „Die Himmelskörper pflegen nicht ſich in geraden Linien zu bewegen.“ Es iſt indeſſen zu bemerken, daß die Erſcheinungen eine mathematiſch geradlinige Bewegung des Sternes nicht nothwendig bedingten; ſetzt man nämlich ſtatt der geraden Linie eine ſehr langgeſtreckte elliptiſche Bahn, eine krummlinige Bahn, deren kleine Are ihrer geringen Größe wegen in der Entfernung des Sternes von der Erde nicht bemerkbar iſt, ſo würde die Erſcheinung ungeändert bleiben und Tycho's Einwand gänzlich wegfallen.

Eine ernſtlichere Schwierigkeit erhoben diejenigen, welche ſagten: Der Stern befindet ſich nahezu in denſelben Verhältniſſen, ſowohl wenn er ſich der Erde nähert, als wenn er ſich von ihr entfernt; beide Bewegungen werden mit gleicher Geſchwindigkeit vor ſich gehen. Es iſt keine Urſache denkbar, aus welcher die Perioden der zunehmenden Helligkeit und die der abnehmenden hätten verſchieden ausfallen können. Nun brauchte aber der Stern in der Caſſiopeja, nachdem er ganz plötzlich erſchienen war, zwölf Monate, um von der erſten zur ſiebenten

Größe abzunehmen. Diese einzige Bemerkung ist es, welche die auf angebliche Veränderungen im Abstande gegründete Erklärung von Grund aus umstößt, wenigstens in den Augen derer, welche meinten der Stern sei plötzlich erschienen, und die überzeugt waren ein neuer Stern dritter und zweiter Größe würde nicht ganze Wochen unbemerkt geblieben sein, selbst wenn die Astronomen von seiner Erscheinung nicht vorher benachrichtigt waren.

Hätten aber die Astronomen zu Tycho's Zeiten die Lichtgeschwindigkeit gekannt, und hätten ihre Parallarenbeobachtungen schon dieselbe Genauigkeit besessen, deren sich die Neueren mit Recht rühmen, so würden sie aus der Hypothese eines veränderten Abstandes (wenn diese als Erklärungsweise der Helligkeitsänderungen des Sternes von 1572 gelten soll), sicherlich Folgerungen gezogen haben, welche, meiner Ansicht nach, selbst die Kühnsten abgeschreckt hätten. Der Leser möge selbst darüber urtheilen.

Insofern sich der Stern von 1572 in der Region der gewöhnlichen Sterne befand, war seine Entfernung von der Erde wenigstens eine solche, die das Licht in drei Jahren durchläuft.

Hält man sich nun einfach an die Thatsachen, so übertraf der neue Stern im Augenblicke seines plötzlichen Erscheinens, und noch mehrere Monate später, die glänzendsten der von Alters her bekannten Sterne erster Größe. Soll aber ein Stern erster Größe durch directes Entfernen von der Erde zur zweiten Größe übergehen, so muß er, wie im 5. Kap. S. 314 schon bewiesen worden, in eine doppelte so große Entfernung als ursprünglich hinausrücken. Hiernach hätte der Stern erster Größe von 1572 nur in dem Falle bis zur zweiten Größe abnehmen können, wenn er sich wenigstens um ebensoviele Meilen weiter entfernt hätte, als das Licht innerhalb drei Jahren durchläuft. Zwischen dem letzten Tage der Periode des vollen Lichtes und dem ersten Tage, an welchem der Stern nur von der zweiten Größe erschienen wäre, hätten also wenigstens sechs Jahre verfließen müssen, „selbst wenn die Fortbewegungsgeschwindigkeit des Sternes der Geschwindigkeit des Lichtes gleich gewesen wäre." Denn der Stern hätte in der That drei Jahre gebraucht, um den Raum zwischen seinen Stellungen als Stern erster und als Stern zweiter Größe zu durchlaufen, und ebenso hätte

das Licht drei Jahre gebraucht, um den Weg vom zweiten Orte bis zum ersten zurückzulegen. Hält man dieselbe Voraussetzung über die Geschwindigkeit der großen Masse, welche diesen Stern bildete, fest, so würde wiederum der Uebergang von der zweiten Größe zur dritten eine neue Zwischenzeit von sechs Jahren bedingt haben, und so fernerhin bis zur siebenten Größe.

Kurz der Stern von Mitte November 1572 hätte infolge seines veränderten Abstandes, wenn er sich mit der Geschwindigkeit des Lichtes von der Erde entfernte, nur in sechs Jahren von einer Größe zur andern übergehen können; um aber von der ersten Größe bis zur siebenten zu sinken, hätte er sechsunddreißig Jahre nöthig gehabt. Vergleichen wir jetzt diese Rechnungen mit dem was die Beobachtungen geben.

Noch im März 1573 war der neue Stern in der Cassiopeja erster Größe.

Einen Monat später, im April 1573, war er schon zur zweiten herabgestiegen.

Vergeblich wäre es, zur Erklärung eines so schnellen Wechsels der Helligkeit einfach zu einer Aenderung des Abstandes seine Zuflucht zu nehmen, wollte man dem Sterne eine größere Geschwindigkeit selbst als die des Lichtes beilegen, ja wollte man sich dieselbe sogar unendlich groß denken. Denn diese letztere Voraussetzung würde die von uns gefundenen Zahlen nur auf die Hälfte herabbringen.

Es wäre offenbar nutzlos diese Betrachtungen fortzuführen; nur will ich für diejenigen, welche an dergleichen Rechnungen Gefallen haben, eine einzige Thatsache hinzufügen. Der neue Stern, der im März 1573 von der ersten Größe war, zeigte sich im März 1574 nur siebenter Größe, denn zu der Zeit nahm ihn in der That kein Astronom mit bloßem Auge wahr.

Wenn Cardanus behauptete, der neue Stern von 1572 sei derselbe gewesen, der den Magiern erschien und sie nach Bethlehem führte; wenn ferner Theodorus von Beza in derselben Ueberzeugung hinzufügte, diese neue Erscheinung verkünde die Wiederkunft Christi, ebenso wie die biblische Erscheinung seine Geburt verkündet habe; so war das in beiden Fällen Astrologie, nicht aber Astronomie; ich kann mich

also auf die bloße Erwähnung einer so seltsamen Verirrung zweier ausgezeichneten Männer beschränken.

Mit demselben strengen Ausdrucke wäre ich fast berechtigt die Erklärungsweise zu bezeichnen, welche Vallesius Covarrobianus ersann, um zu zeigen wie der neue Stern seit Schöpfung der Welt an dem Orte den er im Jahre 1572 einnahm, habe bestehen können und plötzlich bei aller Kleinheit in so hellem Glanze auflodern. Vallesius behauptete nämlich, dieser außerordentliche, ausnahmliche Glanz sei eine Folge des Umstandes gewesen, daß ein dichterer Theil eines Himmelskreises vor den Stern trat.

So dachten sich also die Astronomen noch gegen Ende des sechszehnten Jahrhunderts die ineinander gefügten, körperlichen Bahnen, die krystallenen Himmel der Alten, als etwas wirklich Vorhandenes. Wenn ich die Vorstellung dieses Schriftstellers richtig auffasse, so hätten die Bahnen an ihren Ausbauchungen nach Art der Linsen unserer Leuchtthürme gewirkt, indem sie die Strahlen des Sternes zu divergiren verhinderten, dieselben parallel machten, und in diesem Zustande bis in die fernsten Grenzen des Raumes warfen. Diese Vorstellung hört selbst dann nicht auf lächerlich zu sein, wenn man mit einigen Schriftstellern an die Stelle der Ausbauchung der krystallenen Sphäre eine linsenförmige Anhäufung von Dünsten treten läßt.

Unter allen Ursachen, deren man sich möglicher Weise bedienen konnte um das Erscheinen und das Verschwinden gewisser Sterne, so wie ihre stufenweisen Helligkeitsveränderungen zu erklären, hätte meiner Ansicht nach diejenige zuerst sich ganz natürlich den Astronomen des 16. Jahrhunderts darbieten müssen, welche in der Annahme besteht, daß diese Gestirne an ihrer Oberfläche verschieden leuchten und um ihren Mittelpunkt rotiren. Fragt man, warum dies nicht der Fall gewesen, so ist die Antwort nicht schwer zu finden. Vor Anfange des 17. Jahrhunderts, vor Erfindung der Fernröhre, hatte man weder die Sonnenflecken gesehen, noch die schwächeren Flecken, die bisweilen auf den Oberflächen der Planeten erscheinen; noch hatte sich also bei keinem Gestirne den Augen der Astronomen eine Rotationsbewegung um den Mittelpunkt gezeigt. Freilich ließ Copernicus in seinem denkwürdigen Buche de Revolutionibus die Erde sich drehen, aber eine

Gleichstellung unserer Erde mit der Sonne und den Sternen war in dieser Beziehung eines jener Wagnisse, welches sich nur geniale Männer erlauben dürfen.

Was ich soeben ein Wagniß genannt habe, findet sich aber buchstäblich in der Schrift, welche Keppler aus Veranlassung des neuen Sternes von 1604 veröffentlicht hat: „Es ist wahrscheinlich," sind die Worte des großen Astronomen, „daß sich alle Planeten und Fixsterne um ihre Aren drehen." Später, im Jahre 1609, dehnte er diesen Schluß auf die Sonne aus; das 34. Kap. seines unsterblichen Buches de Motibus stellae Martis trägt folgende Ueberschrift[52]): „Der Sonnenkörper ist magnetisch, und dreht sich um sich selbst."

Damit war das Eis gebrochen; übrigens sollten die Fernröhre bald den Beweis für Keppler's Vorhersagungen liefern, und den Astronomen ein neues Mittel zur Erklärung gewisser Erscheinungen des Sternhimmels an die Hand geben.

Indessen verflossen noch funfzig Jahre, bevor man daran dachte von diesem Mittel Gebrauch zu machen.

Um die Erscheinungen der Sterne von 1572 und 1604 zu erklären, ohne den Grundsatz von der Unverderblichkeit des Himmels zu gefährden, und ohne diese Gestirne als neue Schöpfungen ansehen zu müssen, nahm Riccioli an (Almagestum novum, 1651), es gäbe am Himmel gewisse Sterne, welche von Ewigkeit her zur Hälfte leuchtend, zur andern Hälfte dunkel seien[53]). Berosus der Chaldäer hatte schon dem Monde diese Einrichtung bei Gelegenheit einer absurden Erklärung der Lichtphasen desselben zugeschrieben. „Will Gott den Menschen besondere Zeichen erscheinen lassen," fuhr Riccioli fort, „so läßt er einen von diesen Sternen sich plötzlich um seinen Mittelpunkt drehen, und durch eine ähnliche Drehung entzieht sich der Stern wiederum unsern Augen, entweder plötzlich oder allmälich, wie der Mond in seinem Umlaufe, je nach der Bewegung, die er annimmt."

Nachdem man also so lange gezögert hatte, die regelmäßigen und schnellen Lichtabwechselungen der periodischen Sterne durch Rotationsbewegungen zu erklären, wollte man nun sogar das Erscheinen neuer Sterne aus dieser Ursache herleiten. Auf diese Weise würden die Sterne, welche in den Jahren 945 und 1264 in der Gegend des

Himmels zwiſchen Cepheus und Caſſiopeja erſchienen, frühere Erſcheinungen des Sternes von 1572 ſein.

Dieſer Annahme tritt ſogleich der Einwurf entgegen, daß die Epochen nicht gleichweit auseinander liegen; daß von 945 bis 1264 ein Zeitraum von 319 Jahren, dagegen zwiſchen 1264 und 1572 von nur 308 Jahren liegt. Darauf antworte ich aber: veränderliche Sterne von kurzer Periode haben bei häufiger Beobachtung verhältnißmäßig ebenſo ſtarke Unregelmäßigkeiten gezeigt.

Wenn die Umdrehungszeit des neuen Tycho'niſchen Sternes dreihundert und einige Jahre beträgt, warum wurde er nicht im 7. Jahrhunderte wahrgenommen? Mit dem geringen Werthe, den negative Zeugniſſe beſitzen, iſt hier nicht zu helfen; beſſer wird es ſein daran zu erinnern, daß die meiſten veränderlichen Sterne nicht in allen Perioden denſelben Glanz erreichen; daß der Unterſchied in dieſer Beziehung mitunter zwei Größenklaſſen beträgt, und daß endlich, ſobald man annimmt, der Stern in der Caſſiopeja habe in einigen ſeiner Perioden nur die ſiebente Größe erreicht, die Beobachter ohne Fernröhre ihn nicht haben wahrnehmen können.

Ich unterlaſſe nicht zu bemerken, daß die Aſtronomen Keill und Pigott, ſtatt dem Sterne von 1572 eine Periode von dreihundert und einigen Jahren beizulegen, es vorzogen die Hälfte dieſer Zahl, alſo etwa 150 Jahre anzunehmen. Eine Periode von 150 Jahren würde nicht größere Schwierigkeiten machen, als die doppelte, hätte aber vor dieſer den Vortheil, ſich beträchtlich mehr den von den eigentlichen veränderlichen Sternen bekannt gewordenen Perioden zu nähern. Als Herſchel zwiſchen Sternen mit 3- bis 7tägigen und Sternen von 400tägigen Perioden α im Herkules mit 66 Tagen Umdrehungszeit einſchaltete, glaubte er eine weſentliche Entdeckung gemacht zu haben. In dem gegenwärtigen Falle würde das Zwiſchenglied der Kette zwiſchen jenen erſten Sternen und dem Sterne von 150 Jahren, der an der Bruſt des Schwanes im Jahre 1600 von Janſonius entdeckte Stern ſein. Denn nach Pigott würde die Dauer aller Helligkeitsänderungen dieſes letzteren Sternes, für Zunahme und Abnahme zuſammen, achtzehn Jahre betragen.

Doch abgeſehen von allen dieſen Vergleichungen, will ich, geſtützt

auf sichere, wenn auch ziemlich schwierige Beobachtungen den Beweis liefern, daß der Stern von 1572 nicht ohne gewichtigen Vorbehalt zu den wahren veränderlichen Sternen gerechnet werden darf.

Am 11. November 1572, als der Stern plötzlich erschien, und Tycho ihn zuerst erblickte, war er weiß. Jedermann verglich nämlich die Farbe desselben mit der des Sirius, des Jupiter und der Venus; an Helligkeit übertraf er die beiden ersteren dieser Gestirne.

Im December 1572 hatte der Stern schon abgenommen; an Helligkeit und Art seines Lichtes konnte man ihn mit Jupiter vergleichen.

Im Januar 1573 war der Stern schwächer als Jupiter und schien etwas gelblich.

Gegen Ende März 1573 verglichen die Astronomen den neuen Stern mit Aldebaran (einem röthlichen Sterne). Einstimmig gaben sie ihm eine dem Mars ähnliche Farbe; über seine rothe Färbung war also kein Zweifel.

Im Maimonat 1573 hatte sich die rothe Färbung verloren. Er schien damals in der Weiße des Planeten Saturn.

Im Januar 1574 war er fünfter Größe und weiß.

Im März 1574 war er für das bloße Auge unsichtbar geworden. Das Fernrohr war damals noch nicht erfunden.

Um die röthliche Färbung des Sternes in den ersten Monaten des Jahres 1573 in Uebereinstimmung mit dem zu bringen, was wir über die gleiche Geschwindigkeit der verschieden gefärbten Lichtstrahlen wissen, oder mit den Ergebnissen aus den Beobachtungen der eigentlichen periodischen Sterne, müssen wir nothwendig annehmen, daß der neue Stern beträchtliche physische Veränderungen erlitt, und dies ist es, was ihn von den periodischen Sternen unterscheidet. Indessen will ich doch bemerken, daß man auch mit einem berühmten Astronomen, Sir John Herschel, an ein unvollkommen durchsichtiges Mittel, eine Art kosmischen Gewölks denken könnte, das sich im Raume fortbewegte und damals zwischen Cassiopeja und die Erde trat; derjenige Theil dieser Wolke, den die vom neuen Sterne kommenden Strahlen durchliefen, konnte im März dichter sein, als in der übrigen Zeit.

Wer Keppler's Schriften nicht mit ausreichender Aufmerksamkeit durchliest, und ohne streng kritischen Blick, der bildet sich häufig ein, der neue Stern von 1604 im Schlangenträger habe ungewöhnliche Farbenerscheinungen in der mannigfaltigsten, entschiedensten Weise

dargeboten; dies ist aber ein Irrthum, der hervorgehoben zu werden verdient.

Allerdings spricht Keppler von gelben Färbungen, von Safran, Purpurfarbe und Roth; da man indessen diese Farben nur durch die Dünste des Horizontes bemerkte, so waren sie nicht in Wirklichkeit vorhanden. In einiger Höhe erschien der Stern weiß; nur bot er alsdann abwechselnd alle Farben dar, in denen der geschliffene Diamant in der Sonne erglänzt. Aber dies ist das wesentliche Kennzeichen des Funkelns eines jeden hellen Sternes, und der neue Stern im Schlangenträger bietet also in dieser Beziehung durchaus Nichts, was ihn von den gewöhnlichen periodischen Sternen unterschiede.

Die Gründe, durch welche ich versucht habe den Beweis zu führen, daß der Stern von 1572 physische Aenderungen erlitt, könnten also auf den Stern von 1604 keine Anwendung finden.

Zweiunddreißigstes Kapitel.

Die jährliche Parallaxe der Sterne als Mittel zur Bestimmung der Entfernungen dieser Himmelskörper von unserer Erde.

Stände der Wohnort des Menschen unbeweglich im Raume, so besäßen wir zur Bestimmung der Entfernungen der Himmelskörper verhältnißmäßig nur äußerst kleine Grundlinien, die man zwischen verschiedenen Punkten auf der Erdoberfläche messen könnte. Ist dagegen die Erde, wie in einem besonderen Buche nachgewiesen werden soll, ein Planet, und bewegt sie sich alljährlich um die Sonne in einer nahezu kreisförmigen Bahn, deren mittlerer Halbmesser 20 Millionen Meilen beträgt, so kann der Astronom bei seinen Messungen Grundlinien von der doppelten Länge des Halbmessers der Bahn, d. h. von mehr als 40 Millionen Meilen anwenden.

Zunächst mag bemerkt werden, daß ein Beobachter mit den Instrumenten, die ihm gegenwärtig zu Gebote stehen, jeder Zeit den Werth eines Winkels bestimmen kann, in dessen Scheitel er sich befin-

det; dies vorausgesetzt läßt sich die Methode, welche bei Bestimmung der Entfernung der Sterne in Anwendung kommt, sehr leicht erklären. Man muß nur noch wissen, daß wenn in einem Dreieck eine Grundlinie und zwei Winkel bekannt sind, die Trigonometrie alle Bestimmungsstücke dieses Dreiecks, folglich auch die Entfernung des Scheitels von der Grundlinie bestimmen lehrt.

Nehmen wir an, die Erdbahn sei kreisförmig (eine Voraussetzung die keinen merklichen Irrthum erzeugt), und der zu beobachtende Stern E (Fig. 107) befinde sich im Pole der Ebene der Ekliptik, d. h. auf einer geraden Linie SE, die senkrecht auf dieser Ebene steht und durch die Sonne geht. AB sei der Durchmesser der Erdbahn; überdies ziehe man noch die geraden Linien EA und EB.

Man denke sich nun der Beobachter messe im Punkte A den Winkel EAB; und ferner, nachdem er in B an den Endpunkt des Durchmessers ASB gelangt ist, den Winkel EBA. Die Summe dieser beiden Winkel um E vermehrt, muß, wie wir wissen (1. Buch, 9. Kap. S. 24) 180° betragen. Zieht man also die Summe der beiden Winkel EAB und EBA von 180° ab, so findet man den Werth des Winkels an E ebenso als hätte man ihn direct gemessen.

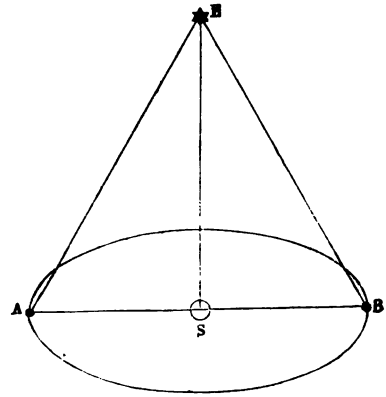


Fig. 107. — Jährliche Parallaxe eines im Pole der Ekliptik befindlichen Sternes.

Die Hälfte dieses Winkels, oder der Winkel SEA oder SEB, nämlich der Winkel, unter dem vom Sterne aus der Halbmesser der Erdbahn, senkrecht gesehen, erscheint, wird die jährliche Parallaxe des Sternes E genannt.

Durch Verbindung der entsprechenden, an zwei gerade gegenüberliegenden Punkten der Erdbahn angestellten Beobachtungen, kann man im Laufe des Jahres eine ansehnliche Anzahl von Messungen der

jährlichen Parallaxe eines im Pole der Ekliptik oder in der Nähe dieſes Punktes belegenen Sternes erhalten.

Wenden wir uns zu dem Falle, wo ſich der Stern in einer mittleren Lage E (Fig. 108) zwiſchen der Ekliptik und deren Pole befindet.

Fällen wir vom Punkte E die Senkrechte EP auf die Ebene der Ekliptik, und ſei S die Sonne, deren Mittelpunkt in derſelben Ebene liegt; legen wir ferner durch EP und S eine Ebene, welche auf der Ebene der Ekliptik ſenkrecht ſtehn wird. Der Durchſchnitt dieſer Ebene wird die jährlich von der Erde um die Sonne beſchriebene Bahn in zwei Punkten A und B treffen, die an den Endpunkten eines und deſſelben Durchmeſſers liegen. Angenommen der Beobachter meſſe, wenn er ſich in A befindet, den Winkel EAB, den der Geſichtsſtrahl AE nach dem Sterne mit dem Durchmeſſer AB einſchließt. Sechs Monate ſpäter wird ſich der Beobachter nach B verſetzt finden; mißt er in dieſer neuen Station mit demſelben Inſtrumente den Winkel EBA, ſo ſind die beiden auf dieſe Weiſe erhaltenen Winkel Beſtandtheile eines und deſſelben Dreiecks, in welchem der dritte Winkel der Winkel E iſt, welchen die Geſichtslinien vom Sterne nach den beiden Endpunkten der Grundlinie AB mit einander bilden.

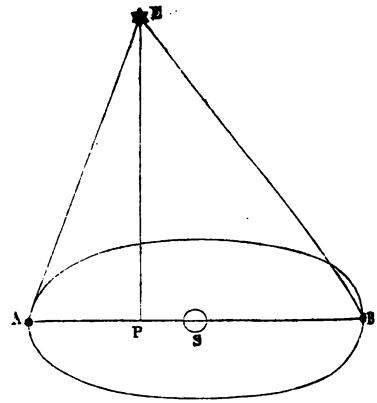


Fig. 108. — Jährliche Parallaxe eines zwiſchen der Ekliptik und ihrem Pole gelegenen Sternes.

Der Beobachter beſitzt zwar kein Mittel auf directem Wege den Winkel E zu beſtimmen, weil er ſich nicht auf den Stern in den Scheitelpunkt dieſes Winkels verſetzen kann, aber derſelbe geometriſche Lehrſatz, deſſen wir uns oben bedient haben, gibt ihm den Werth dieſes Winkels ebenſo genau, als hätte er ihn mit ſeinen Inſtrumenten meſſen können.

Ich wiederhole noch einmal, daß die Summe der drei Winkel

eines Dreiecks, mögen diese Winkel groß oder klein sein, beständig 180° beträgt. Man untersuche also um wie viel die Summe der direct gemessenen Winkel EBA und EAB von 180° verschieden ist: dieser Unterschied wird der Winkel in E sein.

Dies Mal erscheint die Grundlinie AB vom Sterne aus in schräger Richtung; man wird also diesen Winkel um einen gewissen Betrag vergrößern müssen, um denjenigen Winkel zu erhalten, unter welchem man, bei unverändertem Abstande EB, die Grundlinie AB in senkrechter Stellung erblickt haben würde. Diese kleine Verbesserung kann immer ohne Schwierigkeit berechnet werden.

Halbirt man hierauf den so berichtigten Winkel, so erhält man die jährliche Parallaxe des Sternes E.

Verfolgen wir noch eine dritte Annahme, so werden alle möglichen Fälle erschöpft sein; ich meine den Fall, wo der Stern in der Ebene der Ekliptik selbst liegt (Fig. 109).

Vom Punkte E ziehen wir nach der Sonne eine Linie ES, und einen Durchmesser ASB senkrecht auf die Linie ES. Wir nehmen nun an der Beobachter messe, wenn er sich in A befindet, den Winkel EAB und sechs Monate später, wenn er in B angelangt ist, den Winkel EBA; die Summe dieser beiden gemessenen Winkel ergibt, von 180° abgezogen, den Winkel in E, dessen Hälfte die jährliche Parallaxe sein wird.

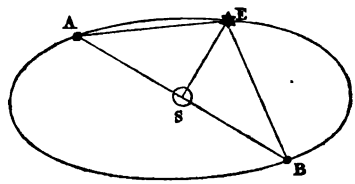


Fig. 109. — Jährliche Parallaxe eines in der Ebene der Ekliptik gelegenen Sternes.

Wenn die Sterne nicht in der Ebene der Ekliptik befindlich waren, so haben wir ihre jährliche Parallaxe aus der Messung der beiden Winkel abgeleitet, welche die nach den Sternen gezogenen Gesichtslinien mit der Ebene der Ekliptik machten, d. h. aus der Messung ihrer Breiten (8. Buch, 2. Kap. S. 263). Beim Beobachten ist es indessen bequemer, oder vielmehr die Berichtigung der Instrumente läßt sich leichter ausführen, wenn man nicht direct die Breiten beobachtet; man leitet sie durch Rechnung her aus den Rectascensionen und Declina-

tionen. Da diese Rechnung mit aller wünschenswerthen Schärfe durchgeführt werden kann, so bleiben im Endresultate nur die Fehler der directen Beobachtungen zurück, auf denen dasselbe beruht.

Es ist aber noch eine große Schwierigkeit übrig, die ich nicht verschweigen darf; sie liegt darin, daß der Winkel E in allen Fällen ungemein klein ist; um diesen Winkel zu finden muß man Beobachtungen vergleichen, die sechs Monate auseinander liegen, so daß, wenn die eine in den Sommer fällt, die andere im Winter angestellt werden muß. Nun ist es aber keineswegs ausgemacht, daß das Instrument eine so lange Zeit hindurch vollkommen unverändert geblieben sei; noch daß die Aenderungen der Gestalt, die Theilungsfehler u. dergl. bei sehr verschiedenen Temperaturen dieselben gewesen seien; auch hat man vielleicht die Refractionen in der Erdatmosphäre, die man nothwendiger Weise in Rechnung nehmen muß, nicht vollkommen genau bestimmen können.

Alljährlich erleiden die Sterne gewisse periodische Ortsveränderungen, die unter den Namen Aberration des Lichtes und Nutation bekannt sind. Die geringste Ungewißheit über den Werth dieser Ungleichheiten würde in den auf die Ekliptik bezogenen Sternörtern kleine Verschiedenheiten erzeugen, welche man irriger Weise versucht sein könnte der Parallaxe zuzuschreiben. Aus diesem Grunde hat man den Versuch gemacht, die Parallaxen auch auf einem anderen Wege zu erhalten, von dem ich jetzt eine Vorstellung geben werde.

Wählen wir wieder einen in E (Fig. 110 S. 371) in schräger Richtung gegen die Erdbahn befindlichen Stern, und nehmen wir an, man beobachte denselben von den beiden Punkten A und B aus, welche sich in der auf der Ebene der Ekliptik senkrechten Ebene EAB befinden. Ist ferner P der Fußpunkt der vom Sterne E auf die Ebene der Ekliptik gefällten Senkrechten, so wird der Winkel PBE den Winkel PAE um eine dem Winkel AEB gleiche Größe übertreffen. Legen wir nämlich durch den Punkt B eine der Linie AE parallele BL, so wird Winkel LBE dem Winkel AEB als innere Wechselwinkel gleich sein (1. Buch, 9. Kap. S. 24). Der Winkel LBP wird gleich sein dem Winkel EAB, weil sie parallele Schenkel haben. Schließlich ist also der Winkel LBE, oder was dasselbe ist, der Winkel AEB dem Unterschiede der Winkel EBP

und LBP oder auch dem Unterſchiede der Winkel PBE und PAE gleich, welche letztere man in den Endpunkten B und A des Halbmeſſers AB beobachtet hat.

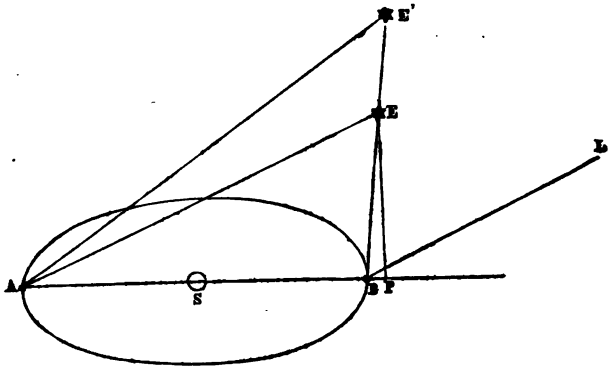


Fig. 110. — Beſtimmung der Parallaxe durch Vergleichung zweier weit von einander entfernten, aber in derſelben Gegend des Himmels befindlichen Sterne.

Hiernach iſt alſo diejenige Größe, um welche ſich ein Stern über die Ebene der Ekliptik zu erheben ſcheint, oder die Größe, um welche die Breite dieſes Sternes zunimmt, während man ſich von A nach B begibt, nichts Anderes, als der Winkel AEB, d. h. der Winkel, unter welchem man den Durchmeſſer AB vom Sterne E aus erblickt.

Nähme man nun einen zweiten, nahe auf der Verlängerung der Geſichtslinie BE gelegenen Stern, ſo würden auch auf dies zweite Geſtirn die ſoeben für den Stern E gemachten Schlüſſe Anwendung finden. Auch hier müßte die Größe, um welche der Stern E' ſich über die Ebene der Ekliptik erheben würde, während der Beobachter von A nach B ginge, dem Winkel gleich ſein, unter welchem die Grundlinie AB vom zweiten Sterne E' aus geſehen wird.

Iſt der Stern E' beträchtlich weiter von AB entfernt als der Stern E, ſo wird der Winkel an E' beträchtlich kleiner ſein als der Winkel an E, und die Entfernung der beiden Sterne E und E' wird ſich, während der Beobachter von A nach B übergeht, um eine dem Unterſchiede der beiden Winkel in E und E' gleiche Größe zu ändern ſcheinen.

Iſt der Winkel an E' unmerklich klein, ſo wird ſich die Entfernung der beiden Sterne, während der Beobachter von A nach B übergeht, um den ganzen Betrag des Winkels E ändern, des Winkels nämlich, welcher durch Linien gebildet wird, die von dieſem Sterne nach den beiden Endpunkten eines und deſſelben Durchmeſſers AB der Erdbahn geführt werden.

Zur Beſtimmung der Parallaxe des Sternes E wird man demnach nicht nöthig haben, ſeinen Ort in beiden Stationen A und B auf die Ebene der Ekliptik zu beziehen; ebenſowenig wird man eines großen getheilten Inſtrumentes bedürfen: der Stern E und der Vergleichſtern E' werden, weil ſie ſich beide an derſelben Stelle des Himmels befinden, dieſelbe Refraction, dieſelbe Aberration des Lichtes und dieſelbe Nutation erleiden, ſo daß die Irrthümer, welche man möglicher Weiſe im Betrage dieſer drei Elemente beging, die Winkeldiſtanz beider Sterne nicht ändern, ſondern die Poſitionen von E und E' in ganz gleicher Weiſe verfälſchen würden.

Endlich kommt noch die Bemerkung hinzu, daß, weil die Sterne E und E' gleichzeitig im Felde deſſelben Fernrohrs ſichtbar ſind, ihr gegenſeitiger Abſtand ſowohl in A als in B mit einem gewöhnlichen Mikrometer gemeſſen werden kann.

Hat man das Glück bei derartigen Unterſuchungen zwei Sterne E und E' zu treffen, die in ſehr ungleichen Entfernungen ſtehen, ſo beſtimmt man die Entfernung des nächſten von beiden durch ein Verfahren, welches nicht dieſelbe kleinliche Sorgfalt und äußerſte Feinheit erfordert, welche nothwendig werden, ſobald man ſich der Methode der abſoluten Breiten bedient.

Wenn ein Stern eine merkliche Parallaxe beſitzt, ſo ſieht man ihn niemals an ſeinem wirklichen Orte; bezeichnete der Stern durch eine leuchtende Spur die ſcheinbaren Oerter, die er auf ſeinem Wege während des ganzen Jahres einnimmt, ſo würde ſich ergeben, daß eines dieſer Geſtirne, im Pole der Ekliptik, während der 365 Tage einen Kreis, oder vielmehr eine der Erdellipſe ähnliche Ellipſe beſchreibt. In allen Lagen zwiſchen dem Pole der Ekliptik und der Ekliptik ſelbſt, werden unabänderlich Ellipſen beſchrieben. Die in

der Ebene der Ekliptik gelegenen Sterne endlich werden alljährlich gerade Linien zu beschreiben scheinen.

Gesetzt die Erdbahn und die scheinbar von den Sternen beschriebenen Ellipsen seien in 360 sich entsprechende Grade getheilt, so wird der Stern in seiner scheinbaren Bahn stets einen Punkt einnehmen, der von demjenigen, wohin die Erde gelangt ist, 180° verschieden ist. Hieraus sieht man, daß das Vorhandensein der jährlichen Parallaxe die gegenseitigen Abstände der Fixsterne um eine geringe Größe periodisch ändern muß.

Ich werde jetzt die zuverlässigsten Resultate anführen, welche man nach den beiden angedeuteten Methoden für die jährliche Parallaxe verschiedener Sterne gefunden hat.

α im Centaur, aus Beobachtungen in den Jahren 1832 und 1839 am Cap der guten Hoffnung, von Henderson und von Maclear[54]) 0″91

Sirius, 1832 bis 1837, am Cap der guten Hoffnung, von Henderson und von Maclear 0,15

α in der Leyer, Wilhelm Struve, von 1835 bis 1838, zu Dorpat 0,26

61. im Schwan, Bessel, von 1837 bis 1840, zu Königsberg 0,35

Peters hat zu Pulkowa in den Jahren 1842 und 1843 folgende Parallaxen bestimmt[55]):

Capella	0″046
ι im Großen Bären	0,133
α im Bootes	0,127
α in der Leyer	0,207
Polarstern	0,106

Diese verschiedenen Parallaxen in Winkelgrößen wollen wir durch eine leichte Rechnung in Meilen verwandeln, und erinnern uns zu diesem Zwecke zunächst, daß die Grundlinie, auf welche sich alle Parallaxen beziehen, jedesmal 21 Millionen Meilen beträgt. Andererseits erscheint ein großer sowohl als ein kleiner Gegenstand unter dem Winkel einer Sekunde, sobald man 206265 Mal weiter als seine eigene Größe von ihm entfernt ist; denn wir haben gesehen, daß, weil das Verhältniß vom Umfang zum Durchmesser 3,14159 beträgt, während im ganzen Kreisumfange 1296000 Secunden enthalten sind, der Halbmesser ebenso lang ist als $\frac{1296000}{3,14159} = 206265$ Secunden. Endlich muß man sich auch des Umstandes erinnern, daß die Entfernung verdoppelt, verdreifacht, verzehnfacht wird, sobald der Gesichtswinkel nur

die Hälfte, das Drittel oder das Zehntel einer Secunde austrägt. Nichts iſt alſo einfacher als die Berechnung folgender Tafel:

	Parallaxe.	Abſtände von der Erde in Halbmeſſern der Erdbahn.	Abſtände von der Erde in Millionen Meilen.
α im Centaur	0″91	226400	4754000
61. im Schwan	0,35	589300	12375000
α in der Leyer	0,26	785600	16498000
Sirius	0,15	1373000	28833000
ε im Großen Bären	0,133	1550900	32569000
Arctur	0,127	1624000	34104000
Polarſtern	0,106	1946000	40866000
Capella	0,046	4484000	94164000

Um dieſe vorſtehenden Entfernungen auf die Lichtgeſchwindigkeit zu beziehen muß man wiſſen, daß die Sonnenſtrahlen (wie ſpäter bewieſen werden ſoll), in $8^m\ 17^s\ 8$ die 21 Millionen Meilen durchlaufen, um welche dies Geſtirn im Mittel von der Erde entfernt iſt. Aus dieſen Daten erhält man als Reſultat, daß das von den verſchiedenen Sternen, deren Parallaxen am Beſten bekannt ſind, herkommende Licht in folgenden Zeiträumen zur Erde gelangt:

	Jahre.
α im Centaur	3,62
61 im Schwan	9,43
α in der Leyer	12,57
Sirius	21,97
ε im Großen Bären	24,80
Arctur	25,98
Polarſtern	31,14
Capella	71,74

Dreiunddreißigſtes Kapitel.

Geſchichtliches über die Unterſuchungen der Aſtronomen, die jährliche Parallaxe der Fixſterne betreffend.

Schon in früheſter Zeit hat die Beſtimmung der jährlichen Parallaxe der Fixſterne die Aufmerkſamkeit der Beobachter auf ſich gelenkt; denn abgeſehen von dem Intereſſe, welches ſich an die Kenntniß der

Entfernung dieſer Geſtirne von der Erde knüpft, galt es aus den Aenderungen einer merklich werdenden Parallaxe den geometriſchen Beweis dafür zu finden, daß die Erde ein Planet ſei, oder daß ſie ſich, gleichwie die andern Planeten in unſerem Syſteme, um die Sonne bewege. Wir müſſen hier unterſcheiden zwiſchen der Auffindung der Methoden, mittelſt deren man das Problem angegriffen hat, und den wirklichen Löſungen, welche verſchiedene Aſtronomen davon gegeben haben.

Die erſte Methode, welche darin beſteht während der 365 Tage des Jahres die Aenderungen eines Sternes in Declination und Rectaſcenſion und ſchließlich ſeine Breitenänderungen zu beſtimmen, war eine ſo natürliche, ſo unmittelbar aus dem Weſen der Sache hervorgegangene, daß man nicht im Stande iſt genau anzugeben, wer ihr Erfinder geweſen. Anders verhält es ſich mit dem zweiten Verfahren, demzufolge man zwei Geſtirne mit einander vergleicht, die ſich in ſehr ungleichen Entfernungen von der Erde befinden, dennoch aber gleichzeitig im Fernrohrfelde wahrgenommen werden. Von dieſer Methode iſt Galilei der Erfinder; ſie iſt mit folgenden beſtimmten Worten in ſeinem dritten Dialog (giornata terza) angegeben[56]):

„Denn ich glaube nicht, daß alle Sterne gleichweit von einem Mittelpunkte entfernt an einer Kugeloberfläche vertheilt ſind; ich halte im Gegentheil ihre Entfernungen für ſo ſehr verſchieden, daß manche Sterne zwei Mal und drei Mal entfernter ſind als die übrigen; dergeſtalt, daß wenn man im Felde eines Fernrohrs in unmittelbarer Nähe eines der hellſten Sterne einen ſehr kleinen erblickte (letzterer in ſehr großer Entfernung befindlich), man vielleicht eine merkliche Veränderung in der gegenſeitigen Lage beider wahrnehmen könnte*)."

Um die auf gegenſeitiger Stellung ſehr benachbarter, ungleich großer Sterne beruhende parallactiſche Methode zum zweiten Male er-

*) Perchè io non credo, che tutte le stelle siano sparse in una sferica superficie ugualmente distanti da un centro; ma stimo, che le loro lontananze da noi siano talmente varie, che alcune ve ne possano esser 2 e 3 volte più remote di alcune altre; talchè quando si trovasse col telescopio qualche picciolissima stella vicinissima ad alcuna delle maggiori, e che però quella fosse altissima, potrebbe accadere, che qualche sensibil mutazione succedesse tra di loro." (Opere di Galileo Galilei, Mailänder Ausg. XII. Bd. S. 205).

wähnt zu finden, muß man bis zum Jahre 1675 fortgehn. Am 24. Juni d. J. ward in der Königlichen Societät zu London ein Schreiben Gregory's aus Edinburg verlesen, welches die in Rede stehende Methode aufs Genaueste und Bestimmteste schildert. Dieser Brief findet sich in der von Thomas Birch englisch abgefaßten Geschichte der Königlichen Societät (1757, III. Bd. S. 225).

Huygens führt in seinem Cosmotheoros, der 1698 zuerst erschien, die relativen Bewegungen zweier benachbarten Sterne von ungleicher Helligkeit und demnach, aller Wahrscheinlichkeit zufolge, auch von ungleichem Abstande, als das Mittel an, sich von der äußersten Kleinheit der Parallaxe des helleren Sternes zu überzeugen. Bei diesem Verfahren diente der kleine Stern als unveränderliche Marke, auf welche man den großen Stern leicht beziehen konnte; übrigens war dieser Vorschlag nur eine Wiederholung von Galilei's glücklichem Gedanken.

Vielleicht war Dr. Robert Long, um die Mitte des vorigen Jahrhunderts, der erste welcher die Galilei'sche Methode durch einen wirklichen Versuch prüfte.

Desselben Verfahrens zur Parallaxenbestimmung durch Vergleichung zweier sehr nahen Sterne von ungleicher Helligkeit geschieht Erwähnung in der Lobrede auf Römer, die Condorcet 1773 veröffentlichte.

Endlich empfahl Herschel diese Methode im Jahre 1781, und stellte zugleich ein Verzeichniß auf von denjenigen ungleich hellen Sternen, die sich am Besten zur Anwendung derselben zu eignen schienen*).

---

*) Im Annuaire des Längenbureau für 1842 hatte ich die Erfindung dieser Methode Galilei zugeschrieben; auch den Dr. Long als denjenigen angeführt, welcher zuerst auf Anwendung derselben bedacht gewesen war. Sir John Herschel hat sich dadurch zu einer Anmerkung veranlaßt gesehen, die man in der zweiten Ausgabe seiner Astronomie findet, und die ich hier anführen will [87]): „Diese Methode hat man dem Galilei zugeschrieben, aber in der allgemeinen Erklärung der Wirkung der Parallaxe im Systema Cosmicum, Dial. III. S. 271 (Leydener Ausg. von 1699), auf welche sich die Verweisung bezieht, ist weder die Rede von den besondern Umständen dieser Beobachtung noch von ihren Schwierigkeiten".

Trotz dieser Bemerkung Sir John Herschel's bleibt die von mir angezogene

Wenden wir uns jetzt zu den Beobachtungen, welche man nach beiden Verfahren angeſtellt hat, und zu den Reſultaten, welche ſie ergeben haben.

Kopernicus, der ſich zu allererſt mit der Parallaxe der Fixſterne beſchäftigt hat, fand ſie unterhalb der Fehler, mit denen die Beobachtungen ſeiner Zeit behaftet waren.

Rothmann, der Mitarbeiter des Landgrafen von Heſſen-Kaſſel, gab für dieſe Parallaxe offenbar übertrieben große Werthe an, denn ſie ſollte nicht weniger als eine Minute betragen. Tycho dagegen, obgleich er wie Rothmann mit bloßen Augen beobachtete, fand auf der Inſel Hween keine merkliche Veränderung in den zu verſchiedenen Jahreszeiten gemeſſenen Zenithdiſtanzen der Sterne[58]).

Im Jahre 1674 ſtellte Hooke mit einem 12 Fuß langen, mit Fernrohr verſehenen Sektor Verſuche an, die zum Ziele führen zu müſſen ſchienen[59]); aber alle Vorſicht, die er anwandte, um ſich gegen die Einwirkungen der Temperatur zu ſchützen, ſcheiterte und die jährliche Parallaxe von 20 bis 30 Secunden, die er für γ im Drachen fand, lag außerhalb aller Wahrſcheinlichkeit und, was wichtiger iſt, außerhalb der Wahrheit, wie bald darauf durch Bradley's Beobachtungen bewieſen ward.

Die Beobachtungen welche Flamſteed nach denen von Hooke anſtellte, ſchienen ihm für den Polarſtern eine Parallaxe anzudeuten, aber die Folgerung war widerlegt, ſobald man bemerkte, daß die Aenderungen in einem Sinne erfolgten, der demjenigen, in welchem eine wirklich vorhandene Parallaxe hätte wirken müſſen, gerade entgegengeſetzt war[60]).

Als Huygens bemerkt hatte, daß die beiden ſehr ungleich hellen Sterne, aus denen ζ im Großen Bären beſteht, zu allen Zeiten des Jahres gleichweit von einander entfernt blieben, ſchloß er daraus auf die Unmerklichkeit der Parallaxe des größeren[61]). Aber dieſer Schluß wäre nur dann folgerichtig aus der Beobachtung hervorgegangen,

---

Stelle vollkommen genau, und ebenſo richtig bleibt es, daß die fragliche Methode nicht Sir William Herſchel, ſondern Galilei zugehört. Alle Anſprüche müſſen in ihren richtigen Grenzen bleiben, ſelbſt wenn ſie aus kindlicher Liebe entſpringen.

wenn vorher bewieſen wurde, daß die Entfernung des kleineren Sternes von der Erde viel beträchtlicher ſei als die des größeren*).

Jacob Caſſini verſuchte in den Jahren 1714 und 1715 die Parallaxe des Sirius mittelſt eines feſtſtehenden Fernrohrs zu beſtimmen, aber die Unſicherheit der Refraction in der geringen Höhe, in welcher ſich dieſer Stern über dem pariſer Horizonte zur Zeit ſeines Meridiandurchganges befindet, und die damals noch unbekannte Aberration des Lichtes, genügen zur Erklärung der ſehr übertriebenen Größe von 10 bis 12″, welche ſich dem franzöſiſchen Aſtronomen als Parallaxe des beobachteten Sternes ergab [62]).

Nachdem Bradley im Jahre 1728 die Aberration des Lichtes und die Nutation entdeckt hatte, ſtimmten alle Poſitionen von Fixſternen, die man in den verſchiedenen Jahreszeiten zu Kew und Wanſted beobachtete, ſobald ſie von dieſen beiden ſtörenden Urſachen befreit waren, ſo vortrefflich untereinander, daß für eine jährliche Parallaxe kein Raum blieb. Ins Beſondere galt dieſer Schluß von den beiden Sternen ζ im Großen Bären und γ im Drachen.

Als um die Mitte des vorigen Jahrhunderts Robert Long die Galilei'ſche Methode in Anwendung brachte, beging er den unverzeihlichen Fehler, aus der ſehr großen Zahl der am Himmel vorhandenen Verbindungen je zweier Sterne α in den Zwillingen, γ in der Jungfrau und γ im Widder auszuwählen, ſämmtlich Sternpaare von nahe gleichen Helligkeiten. Man darf ſich deßwegen nicht wundern, daß ſeine Beobachtungen gar keine Parallaxe ergaben; beſonders wenn ich noch hinzufüge, daß die drei von Long beobachteten Paare Doppelſterne ſind.

Im Jahre 1782 beobachtete Herſchel aufs Genaueſte die gegenſeitigen Lagen der Sterne ε im Bootes und ſeines lichtſchwachen Begleiters. Aus ſeinen Beobachtungen folgerte er, daß der erſtere von beiden Sternen keine merkliche Parallaxe beſitzt; aber dieſe Folgerung hat jede Bedeutung verloren ſeitdem man weiß, daß die beiden Com-

*) In dieſem beſondern Falle bilden die beiden Sterne, wie man ſpäter erkannt hat, ein Doppelſternſyſtem, und befinden ſich ungefähr in gleichem Abſtande von der Erde.

ponenten von ε im Bootes nicht durch eine Wirkung der Projection benachbart erſcheinen, ſondern ein Doppelſternſyſtem bilden und in gegenſeitiger Abhängigkeit ſtehn.

Im Beginn des gegenwärtigen Jahrhunderts veröffentlichte Piazzi eine kleine Schrift, welche die Parallaxen einer gewiſſen Anzahl von Sternen enthielt, die er mit dem berühmten Inſtrumente zu Palermo beobachtet hatte. Aber die Zahlen, bei denen Piazzi ſtehen blieb, haben nicht den Beifall der Aſtronomen gefunden, beſonders wegen der ungleichen Erwärmung der verſchiedenen Beſtandtheile des Kreiſes zu den Jahreszeiten, in welche die Beobachtungen fallen.

Uebrigens erkannte Piazzi ſelbſt, daß die Parallaxen von α in der Leyer, von Capella, Arctur und α im Adler unmerklich ſind.

Im erſten Viertel des XIX. Jahrhunderts entſtand in England über die Parallaxenfrage ein langer und lebhafter Streit zwiſchen Brinkley, Director der dubliner Sternwarte, und Pond, Director der Sternwarte zu Greenwich. Jeder von dieſen beiden berühmten Beobachtern war im Beſitz ſehr mächtiger Inſtrumente; beide waren, wie man ſah, mit den Schwierigkeiten der Aufgabe vollſtändig vertraut, und kannten ſehr wohl alle Vorſichtsmaaßregeln, die zur vollkommenen Löſung nothwendig ſind: dennoch fand Brinkley die folgenden Parallaxen:

α im Ophiuchus	1″6
α in der Leyer	1,2
α im Adler	1,6
δ im Adler	3,2
γ im Adler	2,2
β im Adler	2,4

während Pond zu dem Schluſſe gelangte, die Parallaxen von α in der Leyer, α im Adler und α im Schwane ſeien entweder Null, oder könnten nur einen kleinen Bruchtheil der Secunde betragen.

Ohne daß man im Stande wäre genau anzugeben, welche phyſiſche Urſachen Brinkley in Irrthum führten, haben ſeine Parallaxen dennoch keine Geltung gefunden, und die competenten Richter haben größeres Vertrauen in die Reſultate ſeines Gegners Pond geſetzt.

Wir ſind jetzt bei der Epoche angelangt, wo die Galilei'ſche Me-

thode mit unendlicher Vorsicht zur Aufsuchung einiger Parallaxen angewandt wurde.

Das oben für die Parallaxe von α in der Leyer angeführte Resultat hat Struve erhalten, indem er diesen hellen Stern mit einem 43″ entfernt stehenden Sternchen zehnter bis elfter Größe verglich. Diese in die Jahre 1835, 1836, 1837, 1838 zurückgehenden Beobachtungen sind am großen parallaktischen Fernrohre zu Dorpat angestellt, einem von Fraunhofer construirten und mit einem Fadenmikrometer versehenen Instrumente [63]).

Die von Bessel bestimmte Parallaxe des 61. Sternes im Schwan ist aus königsberger Beobachtungen in den Jahren 1837, 1838, 1839 hervorgegangen; der große Beobachter bediente sich bei seinen Messungen des schönen fraunhoferschen Heliometers [64]). Die Vergleichsterne sind neunter bis zehnter Größe und vom 61. Sterne um 8 und um 12 Minuten entfernt.

Man darf jedoch nicht vergessen, daß sowohl diese als die vorhergehende Parallaxe ein wenig hypothetisch sind, indem sie auf der Voraussetzung beruhen, die Vergleichsterne seien so weit entfernt, daß sie durchaus keine Parallaxen besäßen *).

*) Es ist hervorgehoben worden, daß Bessel bei der Auswahl des Sternes, dessen Parallaxe er bestimmen wollte, nicht durch den Glanz, sondern durch die starke eigene Bewegung geleitet worden sei. Wenn dieser Umstand irgend ein besonderes Verdienst ausmachte, so könnten Herr Mathieu und ich es für uns beanspruchen, denn unsere Beobachtungen von 61. im Schwan reichen bis zum Jahre 1812 zurück. Unser im Jahre 1834 bekannt gemachtes Resultat, das sich auf absolute Declinationsbeobachtungen mit dem Reichenbach'schen Wiederholungskreise gründet, ist übrigens sehr wenig von demjenigen verschieden, das Bessel später gefunden hat. Häufig hatte ich mich gefragt, aus welchem Grunde man unsere Parallaxe fast verschmähte, während Bessel's hypothetisches Resultat bei jeder Gelegenheit angeführt wurde. Den Grund hiervon habe ich in Herrn Peters' vortrefflicher Abhandlung über die Parallaxen gefunden. „Herr Mathieu und ich, wird dort gesagt, hätten unsere Beobachtungen nicht im Detail bekannt gemacht." Diese Bemerkung ist sehr wohl begründet, denn alle ein Jahr lang fortgesetzte Beobachtungen eines Sternes werden im Mittel zu einer großen oder kleinen Parallaxe führen; aber um zu wissen, welches Zutrauen dieselbe verdient, gibt es kein anderes Mittel als nachzusehen, wie die einzelnen Resultate mit der Voraussetzung der Bewegung der Erde um die Sonne übereinstimmen. Ich muß gestehen, daß im gegenwärtigen Falle

Die gleichfalls oben angeführten Parallaxen von α im Centaur, Sirius, Capella, ε im Großen Bären und Arctur beruhen auf absoluten Höhenbeobachtungen mit einem Wiederholungskreiſe, und ſind deswegen nicht mit der Unſicherheit behaftet, welche bei den Beſtimmungen von Struve und Beſſel für die Parallaxen von α in der Leyer und dem 61. Sterne im Schwane zurückbleibt.

Anführen will ich aber dennoch, daß Herr Peters durch dieſelbe Beobachtungsart der abſoluten Höhen die Parallaxe von α in der Leyer 0″20, und die von 61. im Schwane 0″35 gefunden hat.

Dies faſt vollkommene Zuſammenfallen der Reſultate mit denen von Struve und Beſſel beweiſt, daß ſich dieſe beiden Aſtronomen nicht täuſchten als ſie annahmen, die kleinen Sternchen, mit denen ſie α in der Leyer und 61. im Schwane verglichen, ſeien ſo weit von uns entfernt, daß man ihre jährliche Parallaxe als verſchwindend betrachten könne.

Aus eben derſelben Uebereinſtimmung folgt ferner noch der Schluß, daß Herr Peters ſowohl bei Anſtellung der Beobachtungen, als bei der damit vorzunehmenden Reduction, die Geſchicklichkeit des vollendetſten Aſtronomen bewieſen hat.

Vierunddreißigſtes Kapitel.

Die Fixſterne leuchten in ihrem eigenen, von ihnen ſelbſt erzeugten Lichte.

Metrodorus, Stobäus, Strato, Dionitius und Plinius waren der Meinung, die Sterne glänzten nur in reflectirtem Lichte, das ſie

---

dies Verlangen nach dem Detail der Meſſungen um ſo gerechtfertigter war, als eine neue Prüfung ergeben hat, daß von dem mit der Reduction dieſer Beobachtungen Beauftragten ein Zeichenfehler begangen worden iſt. Nach dieſer Berichtigung machen unſere Beobachtungen die Parallaxe Null, und ſelbſt in einigen Fällen negativ. Ich benutze hier deshalb die erſte Gelegenheit es anzuerkennen, daß allein Beſſel's Reſultat, freilich mit dem gehörigen Vorbehalte wegen der vollſtändigen Abweſenheit jeder Parallaxe bei den Vergleichſternen, in der Wiſſenſchaft Geltung behalten darf[85]).

von dem Glanze der Sonne erborgten. Läßt ſich die entgegengeſetzte Anſicht aus mathematiſchen Gründen widerlegen?

Ohne irgend etwas über die Lichtquelle der Sterne feſtzuſetzen, iſt den Aſtronomen der Beweis des Satzes gelungen, daß in der Entfernung, die uns vom nächſten Fixſterne trennt, 20 Millionen Meilen höchſtens unter einem Winkel von einer Secunde erſcheinen würden. In Beziehung auf die Sonne werden die Sterne durch dies numeriſche Reſultat in eine Entfernung verſetzt, welche den Halbmeſſer der Erdbahn 206265 Mal oder um noch mehr übertrifft. Aber in einer ſolchen Entfernung könnte die Sonne höchſtens wie ein Stern zweiter oder dritter Größe leuchten, und mithin würde jeder Stern von unſerer Sonne an ſeiner Oberfläche etwa ebenſo ſtark beleuchtet werden als die Erde vom Polarſterne. Unſere Erde aber würde, wäre ſie ausſchließlich vom Polarſtern beleuchtet, aus der Ferne und in der Nähe faſt vollkommen dunkel erſcheinen. Es würde hiernach vergeblich ſein das Reflectionsvermögen der Sterne vermehren zu wollen, denn niemals würde man im Stande ſein mit dem ſchwachen Lichte des Polarſternes jenes glänzende Licht hervorzubringen, in welchem Wega in der Leyer, in welchem Capella und Sirius ſtrahlen.

Anmerkungen der deutſchen Ausgabe.

Zum neunten Buch.

1. S. 304. Argelander rechnet am ganzen Himmel 20 Sterne zur erſten Größe, John Herſchel 23 bis 24, Mädler dagegen 18. (Kosmos Bd. III. S. 146; Outlines of Astr. § 770, S. 520; Aſtron. 1852, S. 385).

2. S. 305. In ziemlich guter Uebereinſtimmung mit den Zahlen im Texte für die Geſammtſumme aller Sterne der 9 erſten Größenklaſſen, gibt neuerdings Argelander (Kosmos a. a. O.): 1. Gr. 20; 2. Gr. 65; 3. Gr. 190; 4. Gr. 425; 5. Gr. 1100; 6. Gr. 3200; 7. Gr. 13000; 8. Gr. 40000; 9. Gr. 142000.

3. S. 306. Als Reſultat einer ſehr ſorgfältigen Unterſuchung eines mit vortrefflichen Augen begabten Beobachters hat man 4701 mit bloßen Augen über dem Horizonte zu Münſter ſichtbare Sterne, alſo faſt ein halbes Tauſend mehr als Argelander's Neue Uranometrie angiebt. S. Heis de magnitud. rel. cet. S. 16.

4. S. 307. Struve, Etudes d'Astronomie stellaire, Petersb. 1847, S. 72.

Mit Hülfe einer Interpolationsformel, welche auf den Stern-Aichungen William Herſchel's beruht, wird dort die genaue Zahl der im zwanzigfüßigen Herſchel'ſchen Teleskope am ganzen Himmel erkennbaren Sterne auf 29374034 feſtgeſetzt.

5. S. 308. Späterhin hat W. Herſchel die ſämmtlichen Flamſteed'ſchen Sterne nach ihrer Lichtſtärke untereinander verglichen, und die Ergebniſſe in vier Verzeichniſſen (Phil. Trans. 1796 bis 1799) bekannt gemacht. Dieſelben ſtehen auch in Bode's Jahrbüchern für 1809 und 1810.

6. S. 310. An inquiry into the probable parallax and magnitude of fixe stars in den Phil. Trans. vom Jahre 1767. Siebzehn Jahre ſpäter hat John Michell über denſelben Gegenſtand im 74. Bde. der Transactionen eine zweite Abhandlung veröffentlicht.

7. S. 312. Dieſe photometriſche Methode zur Vergleichung der Lichtſtärken bei den Sternen iſt durchaus verſchieden von einer anderen, gleichfalls von Arago herrührenden, die vielmehr auf der Beobachtung der farbigen Ringe bei zwei einander berührenden Linſen von ſehr großen Brennweiten beruht. Letzteres Verfahren iſt in Anm. 76 des 3. Bds. vom Kosmos beſchrieben (S. 134).

8. S. 313. Elemente der Helligkeits-Meſſungen am Sternenhimmel, München 1836.

9. S. 313. Ueber Seidl's Meſſungen vom Jahre 1846 vergl. Kosmos III, S. 132, 133.

10. S. 314. „In dem Zeitraume von 1836 bis 1839 erfuhr dieſer Stern beträchtliche und merkwürdige Schwankungen der Helligkeit.“ Outlines § 782 Anm.

11. S. 316. Struve gelangt in den Etudes d'Astr. stell. S. 81 durch ein Verfahren, welches gänzlich von dem im Texte befolgten verſchieden iſt, zum Verhältniß der mittleren Entfernungen der Sterne verſchiedener Größenklaſſen. Es wird nicht ohne Intereſſe ſein, die auf beiden Wegen gewonnenen Verhältnißzahlen untereinander zu vergleichen; man hat nämlich, wenn man den Abſtand der Sterne erſter Größe zur Einheit nimmt, nach

	Arago:	Struve:
Sterne 1. Gr. ...	1	1,00
2. „ ...	2	1,80
3. „ ...	—	2,76
4. „ ...	4	3,90
5. „ ...	—	5,45
6. „ ...	12	7,73

12. S. 318. Den Durchmeſſer des Objectivs (Lalande ſagt, es ſei ein ziemlich ſchlechtes geweſen) hatte Caſſini bis auf anderthalb Zolle verengt; indem er nach mehrfacher Vergleichung der kleinen, runden und wohlbegrenzten Sternſcheibe das Verhältniß ihres Durchmeſſers zum Jupitersdurchmeſſer wie 1 : 10 fand, ergab ſich die Größe des Fixſternes zu 5″. Elémens d'Astr. Chap. V, S. 51. Humboldt berichtet, daß Arago den falſchen Durchmeſſer des Aldebaran im Fernrohre von 4″ bis 15″ wachſen machte, indem er das Objectiv verengte. — Keppler, der in der

That dem Sirius einen Durchmeſſer von 4′ beigelegt hatte (De Stella nova in pede Serpentar. Prag 1606), iſt ſpäter von ſeinem Irrthume überzeugt worden; vergl. Epitome Astr. Copern. S. 498.

13. S. 319. Hevel in ſeiner Schrift Mercurius in Sole visus (1681); Delambre Hist. de l'Astr. mod. II. S. 492.

14. S. 321. Das Verhältniß der Lichtſtärken zwiſchen Sonne und Sirius hatte Huygens durch ein ihm eigenthümliches photometriſches Verfahren gefunden, auf das hier, der Kürze wegen nur hingewieſen wird: Cosmotheoros (1698), deutſche Ausg. Zürich 1767, S. 199 u. f. Er findet, daß die Sonne 27664 Mal weiter als gegenwärtig entfernt werden müßte, um mit Sirius gleich hell zu ſcheinen; dies gibt das Verhältniß der Lichtſtärken 765 Millionen zu 1. Vergl. auch Struve Etudes, S. 7. — Wollaſton's Vergleichungen aus den Jahren 1826 und 1827 in den Philos. Transact. for 1829: On a method of comparing the light of the sun with that of the fixed stars.

15. S. 323. Die Erklärung ſcheint doch nicht ſchwer zu geben, denn bekanntlich hatte auf der alten griechiſchen Sphäre (des Eratoſthenes) der Skorpion eine beträchtlich größere Erſtreckung am Himmel und die Scheeren erſtreckten ſich über die heutige Waage. Der von Eratoſthenes als hell bezeichnete Stern könnte deshalb β in der Waage ſein, und man wäre nicht zur Annahme irgend einer Helligkeitsänderung genöthigt.

16. S. 323. Dergleichen Irrthümer im Aratus hat Delambre mehrfach nachgewieſen; in keinem Falle kann aber daraus auf veränderte Lichtſtärke eines Sternes geſchloſſen werden. Hist. de l'Astr. anc. S. 65.

17. S. 324. Argelander de fide Uranometriae Bayeri diss. S. 15, 16.

18. S. 326. Philos. Transact. for 1796 enthalten Herſchel's Methode die Sterngrößen zu bezeichnen und untereinander zu vergleichen.

19. S. 327. Nach John Herſchel gehört Denebola gegenwärtig ſogar in die dritte Größenklaſſe; Seidl dagegen hält den Stern für etwas heller als Regulus.

20. S. 327. Die vielfach behauptete Helligkeitsänderung dieſes außer von Bayer auch von Flamſteed und Bradley zur zweiten Größe gerechneten Sternes (Lalande Astr. 3. éd. § 819; Zeitſchrift für Aſtronomie v. Lindenau und Bohnenberger Bd. II, S. 182), hat indeſſen Argelander (a. a. O. S. 17) als unwahrſcheinlich nachgewieſen.

21. S. 327. Schon Ptolemäus gibt dagegen dem Sterne am Hinterfuße des Widders nur die 4. Größe. Delambre, Hist. de l'Astr. anc. I. S. 123.

22. S. 327. Im 8. Kap. von Hevel's Prodromus Astronomiae exhibens fundamenta cet. 1690. Die fünf vermißten Sterne waren tychoniſche.

23. S. 328. Miß Caroline Herſchel: Catalogue of Stars taken from Mr. Flamsteed's Observations cet. 1798; nur die Einleitungen zu den einzelnen Sectionen dieſes Werkes rühren von William Herſchel ſelbſt her.

24. S. 328. Den 9. Stern im Stier (nach Flamſteed) vermißte Herſchel im vierten Verzeichniß der „vergleichenden Lichtſtärken" (Phil. Trans. for 1799), aber

der Stern iſt dennoch am Himmel vorhanden, und von Piazzi und Taylor beobachtet worden. Er mag in langer Periode veränderlich ſein. Dagegen iſt 55. im Herkules einer von den elf Flamſteed'ſchen Sternen, die obgleich anſcheinend genau beobachtet, am Himmel nicht mehr aufgefunden werden. Vielleicht mag auch dieſer Stern von Zeit zu Zeit gänzlich verſchwinden (Phil. Trans. for 1792, S. 26). Vergl. Baily in der Einleitung zum Brit. Assoc. Catal. S. 77.

25. S. 329. Caſſini, Elém. d'Astron. S. 73.

26. S. 330. Das Problem, zu finden wie viele Sterne ſich dergeſtalt um die Sonne vertheilen laſſen, daß ſie unter ſich und von der Sonne gleichen Abſtand haben, iſt zuerſt von Lambert im 12. ſeiner cosmologiſchen Briefe (1761) geſtellt und aufgelöſt worden (S. 155). Er findet deren 12, welches bei dieſer Vorausſetzung die Anzahl der Sterne erſter Größe wäre. Schubert findet (Bode's Jahrbuch für 1805, S. 138) deren 13,4, und da das Problem nur ganze Zahlen zuläßt, 13 oder 14. Die Zahl der Sterne 2. Gr., d. h. die auf der Oberfläche einer doppelt ſo großen Kugel Raum finden, beträgt 57, u. ſ. w.

27. S. 332. Olbers in Bode's Jahrbuch für 1826, S. 110: über die Durchſichtigkeit des Weltraums.

28. S. 333. Traité de la Comète qui a paru en 1743 et 1744 par Cheseaux, 1744, im zweiten Anhange, der von der Fortpflanzung des Lichtes im Aether und von der Entfernung der Fixſterne handelt. — Auch Struve iſt bei ſeinen Unterſuchungen über die Vertheilung der Fixſterne im Raume zu dem Reſultate gelangt, daß die Lichtſtärke ſchneller abnimmt, als im umgekehrten Verhältniß der Quadrate der Abſtände, und daß alſo das Licht beim Durchgange durch den Himmelsraum einen Verluſt durch Abſorption erleidet (Etudes d'Astr. stellaire, S. 86 und Notes S. 45).

29. S. 333. Olbers a. a. O. S. 115.

30. S. 336. Dies Argelander'ſche Verzeichniß wie es hier folgt, iſt zuerſt mitgetheilt worden im Kosmos III. Bd. S. 243.

31. S. 337. Der oſtfrieſiſche Prediger David Fabricius (1564—1617) war der Vater des eigentlichen Entdeckers der Sonnenflecken; er ſtand lange Zeit in lebhaftem Verkehr mit Keppler. Ausführliche Nachrichten über ihn geben Olbers in Schumacher's Aſtron. Nachr. XXXI. S. 129. und Apelt Reformation der Sternkunde 1852, S. 271—273.

32. S. 337. In einer 1649 publicirten Diſſertation über eine Mondfinſterniß vom Jahre 1638 handelt Holwarda (im zweiten Theile) von dem „wunderbaren Sterne im Geſtirn des Wallfiſch". Weidleri Hist. Astr. S. 489.

33. S. 338. Historiola novae ac mirae stellae in collo Ceti, zuſammen mit einigen andern Abhandlungen Hevel's im Jahre 1662 zu Danzig erſchienen.

34. S. 339. Ismael Bullialdus Ad Astronomos monita duo: primum de stella nova quae in collo Ceti est. 1667.

35. S. 340. Herſchel in den Phil. Trans. for the Year 1780, S. 338: Aſtronomiſche Beobachtungen über den veränderlichen Stern am Halſe des Wallfiſches.

36. S. 340. Philosoph. Trans. 1792, S. 24, on the periodical appearance of o Ceti.

37. S. 342. Argelander's neueſte Reſultate für dieſen Stern, deſſen Veränderungen äußerſt complicirt ſind, ſiehe im dritten Bande des Kosmos, S. 260, Anm. 11, 12.

38. S. 343. Die Periode iſt von Koch bereits im Jahre 1814 beſtimmt worden; doch iſt der Stern, wie im Texte angedeutet, nur „zeitweiſe veränderlich". Koch in Bode's Jahrbuch für 1817. S. 220.

39. S. 343. Die erſte Anzeige der Veränderlichkeit dieſes Sternes gibt Herſchel im 86. Bde. der Phil. Trans. S. 452.

40. S. 344. Argelander de stella β Lyrae variabili 1844. Ueber die Zunahme der Periode bis zum Jahr 1840 oder 1841 und darauf eingetretene Abnahme derſelben vergl. Aſtron. Nachr. XXVI. S. 371.

41. S. 345. Ausführlichere Mittheilungen über die Veränderlichkeit von Algol gibt nach dem neueſten Zuſtande der Kenntniſſe Argelander im Kosmos III, S. 246, 247. Die ſehr reiche Literatur der früheren Unterſuchungen kann deshalb hier übergangen werden.

42. S. 346. Humboldt im Kosmos, S. 252—253, meiſt nach Sir John Herſchel's Results of Astron. Observations at the Cape of Good Hope, 1847, S. 32—37.

43. S. 348. Discours sur les différentes figures des astres, Paris 1732.

44. S. 349. Einen ebenſo merkwürdigen Umſtand bei den Erſcheinungen der neuen Sterne bemerkt Arago an dieſer Stelle nicht. Hind und lange Zeit vorher ſchon Tycho und Keppler hatten gefunden, daß die ſämmtlichen neuen Sterne, mit ſehr geringen Ausnahmen, nahe bei der Milchſtraße oder in dieſer ſelbſt erſchienen. S. Monthly notices VIII. S. 156. Vergl. im Text S. 358.

45. S. 353. Ed. Biot sur les étoiles extraordinaires observées en Chine, in der Connaiss. des temps pour 1846.

46. S. 353. Vollſtändiger und umſtändlicher, als irgendwo vorher geſchehen, zählt Humboldt die „neuen und kurzzeitigen Sterne" auf im Kosmos III. S. 220—232.

47. S. 354. Kosmos III. S. 216—218 aus Tycho's Astronomiae instaur. Progymnasmata 1603, S. 298 u. f.

48. S. 357. Vergl. Arago im Annuaire für 1834 und 1842; Kosmos III. S. 225.

49. S. 357. Was von dem neuen Sterne des Carthäuſer Anthelme bekannt

geworden, findet man nach Caſſini und Delambre zuſammengeſtellt im Kosmos Bd. III. S. 226.

50. S. 358. Die Poſition des Sternes für 1848; man ſah ihn 1850 von der 11. Größe. Kosmos III. S. 227; Aſtron. Nachr. XXVII., S. 191, 209, 237; Monthly Notices of the Roy. Astr. Soc. VIII., 146, 155.

51. S. 359. Hieronymus Fracaſtor war ſchon im Jahre 1548 geſtorben, alſo vierundzwanzig Jahre vor Erſcheinen des Sternes in der Caſſiopeja. Ueber Johannes Dee ſiehe Weidleri Hist. Astron. S. 398, und ausführlichere Nachrichten bei Käſtner Geſchichte der Mathematik II. S. 433 u. f.

52. S. 363. Die angeführten Worte Keppler's kommen nicht im 32. Kap. des Werkes vor, wie der franzöſiſche Text angibt, ſondern das 34. Kap. handelt überhaupt davon, daß die Sonne magnetiſch ſei und ſich um ihre eigene Axe drehe. De Motibus Stellae Martis, 1609, S. 172.

53. S. 363. Riccioli Almagestum novum 1651, P. II. S. 177 u. f. Vergl. Caſſini Elém. d'Astr. S. 67; Lalande Astron. § 825. Dieſer Erklärungsweiſe hatte ſich auch Newton angeſchloſſen.

54. S. 373. Die Beobachtungen Henderſon's mit dem Mauerkreiſe der Cap-Sternwarte fallen in die Jahre 1832 und 1833; das merkwürdige Reſultat aus denſelben wurde aber erſt 1838 bekannt gemacht. Später hat Maclear ſowohl mit demſelben, als auch mit einem neuen und beſſeren Inſtrumente faſt genau dieſelbe Parallaxe gefunden, und noch neuerdings (in den Jahren 1842, 43, 44, 48) hat eine vorzügliche Reihe von Höhenbeobachtungen die Parallaxe 0"919 ergeben. Monthly Notices of the Roy. Astr. Soc. XI. S. 131.

55. S. 373. Peters, Recherches sur la parallaxe des étoiles fixes; Struve, Etudes d'Astr. stellaire 1847, S. 99.

56. S. 375. Auf dieſe, lange Zeit unbeachtet gebliebene Stelle bei Galilei hat Arago zuerſt aufmerkſam gemacht im Annuaire für 1842, S. 382; vergl. Kosmos Bd. III. S. 271, 284 Anm. 16.

57. S. 376. Outlines of Astronomy, § 813, S. 550 Anm.

58. S. 377. Keppler, Epitome Astr. Copern. 1618, S. 493.

59. S. 377. An attempt to prove the motion of the earth from observations by Rob. Hooke, 1674. — Flamſteed und Hooke folgerten aus dieſen Beobachtungen die Parallaxe von γ Drac. zu 15".

60. S. 377. John Flamſteed's Beobachtungen zur Beſtimmung der Parallaxe fallen in die Jahre 1689 u. f. Unerwähnt darf nicht bleiben, daß Flamſteed's Beobachtungen, wenn ſie auch das geſuchte Reſultat nicht ergaben, dennoch in den Veränderungen, die ſie andeuteten, richtig waren.

61. S. 377. So erzählt Huygens im Cosmotheoros, der 1698, drei Jahre nach dem Tode des Verfaſſers erſchien; Näheres über ſeine Beobachtungen führt er indeſſen nicht an. (Ausg. Zürich 1767, S. 198).

62. S. 378. Cassini Elémens d'Astron. 1741, S. 51; aus der Unmerklichkeit der Parallaxe des Sirius ſchloß Jakob Caſſini auf die äußerſt geringe Größe derſelben bei allen übrigen Sternen.

63. S. 380. Struve in den Aſtron. Nachrichten, Bd. XVII., S. 177.

64. S. 380. Aſtron. Nachrichten, Bd. XVI. S. 65—96; die zweite Abhandlung Bd. XVII., S. 257 u. f.

65. S. 381. Es darf nicht unbemerkt bleiben, daß auch Beſſel ſo früh Verſuche zur Beſtimmung der Parallaxe dieſes Sternes gemacht hatte, die freilich ebenſo erfolglos waren, als ſich der von Arago jetzt erweiſt. Nachrichten von der Arbeit Arago's und Mathieu's brachte die Connaissance des temps für 1834, S. 282 in der Note.

Zehntes Buch.

Von den mehrfachen Sternen.

Erſtes Kapitel.

Was verſteht man unter zweifachen, dreifachen, vierfachen Sternen?

Die Aſtronomen bezeichnen als Doppelſterne, dreifache, vierfache Sterne ſolche Gruppen von zwei, drei, vier Sternen, welche nahe beieinander erſcheinen. Betrachtet man den Himmel mit einem Fernrohre, ſelbſt an Stellen wo die Sterne am zahlreichſten vorhanden ſind, wie in der Milchſtraße, ſo erſcheinen die Sterne in einem Geſichtsfelde meiſt ziemlich gleichförmig vertheilt. Die ſie trennenden Zwiſchenräume ſind ungefähr gleich groß und ziemlich bedeutend. Je allgemeiner dieſe Regel iſt, um ſo auffallender müſſen die Ausnahmen den Aſtronomen erſcheinen. Wer hätte z. B. nicht den Stern Caſtor oder α in den Zwillingen bemerkt, der dem bloßen Auge einfach erſcheint, den die griechiſchen und arabiſchen Aſtronomen in der That als einen einfachen Stern aufgeführt haben, und den man in einem hinlänglich vergrößernden Fernrohre aus zwei ſich faſt berührenden Sternen dritter und vierter Größe zuſammengeſetzt findet.

Bei einigen unter den gegenwärtig bekannten Doppelſternen befinden ſich die beiden Componenten ungemein nahe beieinander. Nur die beſten Fernröhre vermögen ſie zu trennen, und häufig bedarf es dazu der ſtärkſten Vergrößerungen und günſtiger atmoſphäriſcher Umſtände, wie ſie in unſerm Klima ſehr ſelten ſind. Aus der Zahl dieſer Sterne nenne ich ε im Widder, γ in der Krone, π im Herkules u. ſ. w.

Zweites Kapitel.

Von den Doppelsternen.

William Herschel, der zuerst seine Aufmerksamkeit anhaltend auf die Doppelsterne richtete, hat dieselben in vier Klassen getheilt, nicht nach dem Grade ihrer Helligkeit, sondern nach der größeren oder kleineren Winkeldistanz der Componenten. Die erste Klasse enthält alle diejenigen Gruppen, in welchen die Mittelpunkte beider Sterne weniger als 4 Secunden von einander entfernt sind. Für die zweite Klasse betragen die Winkelabstände zwischen 4 bis 8 Secunden; in der dritten zwischen 8 und 16; die vierte Klasse endlich bilden alle nicht in den vorigen enthaltenen Gruppen, in denen der Abstand beider Sterne nicht 32 Secunden übersteigt.

Herschel's erste Kataloge enthielten [1]):

1. Klasse	. . . .	97	Doppelsterne
2. „	. . . . .	102	„
3. „	. . . . .	114	„
4. „	. . . . .	132	„
	in Summa	445	

Diese Anzahl vermehrte Herschel noch kurz vor seinem Tode auf mehr als 500; seitdem ist dieselbe beträchtlich gestiegen. Bei einer allgemeinen Musterung des Himmels mit einem sehr großen Fraunhofer'schen Fernrohre hat Struve, indem er seine Nachforschungen auf die Sterne der acht ersten Größenklassen und selbst auf die hellsten der neunten Größe ausdehnte, zwischen dem Nordpole und 15 Grad südlich vom Aequator, aufgefunden und katalogisirt (einschließlich der Herschel'schen Sterne):

987	Doppelsterne	erster Klasse,
675	„	zweiter „
659	„	dritter „
736	„	vierter „

Im Ganzen 3057 Doppelsterne.

Diese Anzahl von mehr als 3000 Doppelsternen ist das Ergebniß der Untersuchung von etwa 120000 verschiedenen Sternen: im Mittel

hat sich demnach unter je vierzig Sternen einer gefunden, der als doppelt zu betrachten ist[2]).

Aber dies Verhältniß ändert sich, wie Struve bemerkt hat, mit der Helligkeit der Sterne; so finden sich unter den 2374 Sternen erster bis sechster Größe, welche Flamsteed in der vom dorpater Astronomen durchforschten Gegend beobachtet hatte, 230 doppelte: d. h. etwas weniger als einer unter 10.

In derselben Region des Himmels hat Piazzi 3388 Sterne verzeichnet, die im Allgemeinen weniger hell sind als die 2374, von denen zuerst die Rede war; diese Abtheilung bietet uns nur 134 Doppelsterne: d. h. einen unter 25.

Stellt man dieselbe Rechnung für Sterne einer bestimmten noch geringeren Klasse an, so findet man nur noch unter je 42 einen Doppelstern.

Die für Erforschung des Südhimmels in günstiger Lage befindlichen Beobachter, die Astronomen am Cap der guten Hoffnung und Port Jackson z. B., haben gleichfalls angefangen sich mit den vielfachen Sternen zu beschäftigen; so daß man mit Recht hoffen darf, daß die Zahl dieser Gestirne, welche alljährlich auf den großen Sternwarten beobachtet werden wird, in Kurzem nicht weniger als fünf bis sechs tausend betragen könne.

Die Eintheilung der Doppelsterne in vier Klassen, wie sie William Herschel aufgestellt hat und die seine Nachfolger angenommen haben, hat außer dem Willkürlichen, das in ihr liegt, noch einen Fehler, der das Aufgeben derselben unausbleiblich herbeiführen muß. Im Verlaufe unserer Darstellung wird man nämlich erfahren, daß man veranlaßt werden könnte dasselbe Paar von Sternen, je nach dem Beobachtungsjahre, bald in die erste, bald in die zweite oder in die dritte Klasse zu setzen.

Derselbe Uebelstand trifft auch die von Struve gemachten Eintheilungen der Doppelsterne. Der berühmte russische Astronom theilt nämlich diese Sterne in acht Klassen:

die erste enthält alle diejenigen, bei denen der Abstand weniger als 1″ beträgt;

die zweite alle diejenigen, deren gegenseitiger Abstand größer ist als 1″ aber kleiner als 2″;

die dritte enthält die zwischen 2″ und 4″ entfernten Sterne;

in die vierte gehören alle Sterne mit Entfernungen zwischen 4″ und 8″;

in die fünfte zählt man die Sterne von 8″ bis 12″ Entfernung;

die sechste besteht aus allen diesen Gestirnen, deren Abstand zwischen 12″ bis 16″ beträgt;

in der siebenten findet man alle diejenigen, deren Distanz größer als 16″ und kleiner als 24″ ist;

die achte endlich begreift alle Sterne, die zwischen 24″ bis 32″ voneinander entfernt sind.

Sind in einem Paare die Sterne sehr ungleich, so bezeichnet man bisweilen den kleineren als den Begleiter oder Satelliten.

Drittes Kapitel.

Dreifache Sterne.

Die dreifachen oder vierfachen Sterne scheinen in geringer Anzahl vorhanden zu sein. Struve's Katalog z. B. enthält innerhalb der Stufenreihe des Winkelabstandes in den acht von diesem Astronomen aufgestellten Klassen nur 52 dreifache Sterne.

Unter den dreifachen Sternen bemerkt man besonders:

α in der Andromeda,	ξ im Scorpion,
ζ im Krebse,	11. im Einhorn,
μ im Wolfe,	12. im Luchs.
μ im Bootes,	

α in der Andromeda, μ im Bootes und μ im Wolfe zeigen sich selbst in sehr starken Fernröhren nur als einfache Doppelsterne; betrachtet man sie jedoch mit Instrumenten von ungemeiner Vollendung und mit hinreichenden Vergrößerungen, so bemerkt man, daß die Begleiter wiederum doppelt sind.

Bei den Sternen ζ im Krebſe und ξ im Scorpion ſind alle drei Componenten ziemlich hell.

Beim 12. im Luchs iſt der eine Stern ſechſter bis ſiebenter Größe; der zweite ſiebenter, und der dritte, welcher deutlich blau gefärbt erſcheint, neunter Größe.

Viertes Kapitel.

Vierfache Sterne.

Unter den vierfachen Sternen kann man als einen der merkwürdigſten ε in der Leyer anführen.

Mit einem gewöhnlichen Fernrohre ſcheint ε in der Leyer nur ein Doppelſtern zu ſein; ſobald man aber eines der kraftvollſten Inſtrumente, deren ſich heutzutage die Aſtronomen bedienen, darauf richtet, erkennt man daß die beiden Componenten dieſes Sternes ſelbſt wieder Doppelſterne ſind.

Fünftes Kapitel.

Vielfache Sterne.

Von Gruppen, die aus mehr als vier Sternen beſtehen, und die man vielfache Sterne genannt hat, ſind bisher ſehr wenige beobachtet worden. Ich will indeſſen θ im Orion anführen, der aus vier Hauptſternen vierter, ſechſter, ſiebenter und achter Größe beſteht, welche die vier Ecken eines Trapezes einnehmen, deſſen größte Diagonale etwa 21″ beträgt; jeder der beiden Sterne an der Baſis hat einen ſehr ſchwachen, ſchwer wahrzunehmenden Satelliten oder Begleiter der elften bis zwölften Größe.

Sechstes Kapitel.

Lichtstärken und Farben der Doppelsterne.

Die beiden Sterne, aus denen die gewöhnlichen Doppelsternpaare bestehen, sind im Allgemeinen von sehr ungleicher Helligkeit; häufig kommt es sogar vor, daß sie durch deutlichen Farbenunterschied merkwürdig sind. Oftmals ist der größere von beiden röthlich oder gelblich; noch häufiger ist der zweite entschieden grünlich oder bläulich. In der folgenden Tafel werde ich die Namen einer gewissen Anzahl solcher Doppelsterne zusammenstellen, welche Farbenunterschiede zeigen, sowohl um zu zeigen, daß dergleichen Sterne nicht sehr selten sind, als auch weil dieselben zu den interessantesten Beobachtungsobjecten gehören. Die Angaben für die Sterne am Südhimmel habe ich Herrn Dunlop, Astronomen zu Port-Jackson in Neuholland entlehnt; die andern sind aus den Katalogen von Herschel und South genommen.

Folgende Tafel beruht auf den zuverlässigsten Grundlagen, welche ich mir verschaffen konnte:

35. in den Fischen: der größere weiß; der kleinere blau.

α im Widder: große weiß, kleine blau.

13. im Wallfische: große gelb, kleine blau.

26. im Wallfische: große weiß, kleine blaugrün.

γ in der Andromeda: große orange, kleine smaragdgrün.

59. in der Andromeda: beide bläulich. Beide sind wenig verschieden.

32. im Eridanus: große strohgelb, kleine blau.

η im Perseus: große roth; kleine dunkelblau.

ε im Perseus: große weiß; kleine bläulich.

m im Perseus: zwei gleich helle Sterne.

φ im Stiere: große roth, kleine bläulich.

1. in der Giraffe: große gelb, kleine blau.

ω im Fuhrmann: große granatfarben, kleine blau.

62. im Eridanus: große weiß, kleine blau.

β im Orion: große weiß, kleine bläulich.

δ im Orion: große weiß, kleine purpurfarben.

ζ im Orion: große gelblich, kleine bläulich.
8. im Einhorn: große gelb, kleine purpurfarben.
38. in den Zwillingen: große gelb, kleine blau.
Caſtor oder α in den Zwillingen: zwei weiße Sterne, der eine dritter, der andere ſiebenter Größe.
δ in den Zwillingen: große weiß, kleine blau.
Regulus oder α im Löwen: große weiß, kleine bläulich.
γ im Löwen: zwei ungleiche Sterne, beide röthlich.
2. in den Jagdhunden: große roth, kleine blau.
ζ im Krebſe: zwei ſehr ungleiche Sterne.
ν im Krebſe: zwei Sterne ſiebenter bis achter Größe.
ι im Krebſe: große ſchön gelb, kleine indigoblau.
γ in der Jungfrau: zwei gleich helle, weiße Sterne.
ε im Bootes: große gelb, kleine blaugrünlich.
δ im Bootes: große weiß, kleine dunkelblau.
θ in der Schlange: beide blau.
49. in der Schlange: beide Sterne weiß und gleich hell.
ζ in der Krone: große weiß, kleine blau.
β im Skorpion: große weiß, kleine blau.
κ im Herkules: große weiß, kleine röthlich.
43. im Herkules: große roth, kleine bläulich.
α im Herkules: große röthlich, kleine grün.
ο im Schlangenträger: große roth, kleine blau.
53. im Schlangenträger: beide bläulich und ſehr ungleich.
ν im Drachen: beide bläulich; von gleicher Helligkeit.
α in der Schlange: große weiß, kleine blau.
12. im Haar der Berenice: große weiß, kleine roth.
24. im Haar der Berenice: große röthlich, kleine ſchön grün.
ζ im Großen Bären: große weiß, kleine bläulich.
ξ im Großen Bären: zwei nahe gleiche Sterne.
55. (Bode) im Haar der Berenice: beide bläulich und gleich hell.
ζ in der Leyer: große weiß, kleine blau.
β in der Leyer: große weiß, kleine blau.
ο im Drachen: große dunkelroth, kleine blau.
μ im Drachen: zwei gleich helle Sterne.

ϑ in der Leyer: große weiß, kleine blau.
ψ im Schwane: große gelb, kleine intenſiv blau.
χ im Schwane: große weiß, kleine ziemlich lebhaft blau.
61. im Schwane: zwei gleiche Sterne.
28. (Bode) in der Andromeda: beide bläulich, beinahe gleich.
ϰ im Cepheus: große weiß, kleine blau.
γ im Delphin: große weiß, kleine etwas gelblich.
Anonymus *): beide bläulich; haben faſt gleiche Helligkeit.
Anonymus **): beide bläulich, von gleicher Lichtſtärke.
47. in der Caſſiopeja: große weiß, kleine blau.
η in der Caſſiopeja: große roth, kleine grün.
ι in der Malerſtaffelei: große weiß, kleine blau.
k im Centaur: große weiß, kleine blau.
ε im fliegenden Fiſche: große weiß, kleine blau.
ϰ im Schiffe Argo: große blau, kleine dunkelroth.
ϑ im Centaur: große gelb, kleine blau.

Siebentes Kapitel.

Ob die Farbenverſchiedenheit bei den Doppelſternen eine optiſche Täuſchung ſei?

Als ich in den Doppelſtern-Verzeichniſſen ſo zahlreiche binäre Verbindungen von roth mit blaugrün, ſowie von gelb und blau bemerkte, entſtand in mir der Gedanke, die blaue oder grüne Färbung des kleineren Sternes möchte nichts Wirkliches ſein, ſondern das Reſultat einer Täuſchung, eine bloße Wirkung des Contraſtes. Dieſe Meinung war ich im Stande durch Beobachtungen in optiſchen Schriften, die von den ſubjectiven Farbenerſcheinungen handeln, zu ſtützen. Bei dieſen Beobachtungen erſcheint nämlich ein ſchwaches weißes Licht bei Annäherung eines ſtarken rothen Lichtes grün, und geht in blau

*) Rectaſcenſion 19h 19m; nördliche Declination 20° 46′.
**) Rectaſcenſion 19h 21m; nördliche Declination 36° 10′.

über, sobald das helle Licht in der Nähe gelblich ist. Gerade diese Combinationen aber waren es, die sich zwischen dem helleren und dem schwächeren Sterne bei den Doppelsternen zeigten, und zwar so häufig, daß man sich für vollkommen berechtigt halten konnte, beide Erscheinungen auf diese Weise in Verbindung zu bringen. Dennoch war ich der Meinung, die große Menge der Ausnahmefälle, die sich in der That zeigten, dürfe nicht unberücksichtigt bleiben. Häufig war ein kleiner blauer Stern der Begleiter eines hellen weißen Sternes: z. B. im 38. der Zwillinge, in α des Löwen u. s. w. Hier sah man kein Gelb, also keine Färbung durch Contrast; die blaue Färbung des kleineren Sternes konnte in diesem Falle nicht als eine Täuschung angesehen werden. Ist etwa blau die wirkliche Farbe einiger Sterne? Zu demselben Schlusse leitete ebenso unmittelbar die Beobachtung von δ in der Schlange, denn in diesem Sternpaare ist sowohl der größere als der kleinere blau. Somit war ich also in vollem Rechte, als ich im Jahre 1825 (siehe Connaissance des temps pour l'année 1828) den physikalischen Begriff des Contrastes nur mit großer Vorsicht in die Doppelsternfrage einführte*).

Mitunter bewirkt der Contrast, dies muß man zugeben, die grüne oder blaue Färbung des kleineren Sternes in einem Paare, wo der hellere roth oder gelb ist. Ein äußerst einfacher Versuch reicht schon hin, diesen Fall von den übrigen zu unterscheiden: man muß den Hauptstern durch einen Faden oder eine Blende im Innern des Fernrohrs verdecken. Wenn bei Verdeckung des größeren Sternes der dann allein sichtbare kleinere seine Farbe verliert und weiß erscheint, so war die grüne oder blaue Färbung, in der er sich zeigte wenn beide Sterne gleichzeitig sichtbar waren, nichts als eine Täuschung. Tritt aber das Gegentheil ein, so müßte man durchaus diese Färbungen als wirklich

*) Auch Sir John Herschel hat den optischen Begriff des Contrastes in die Frage nach den Farben der Doppelsterne eingeführt. Wären in einer solchen Angelegenheit Ansprüche auf Priorität geltend zu machen, so würde ich erwähnen, daß die Connaissance des temps für 1828 früher als die erste Auflage der Herschel'schen Astronomie herausgegeben wurde, in welcher letzteren der berühmte Astronom zuerst, so viel ich weiß, gelegentlich der Doppelsterne von den Wirkungen des Contrastes gesprochen hat.

vorhanden betrachten. Die Verdeckung des größeren Sternes bringt indeſſen nur in einer gewiſſen Anzahl von Fällen das Verſchwinden aller Farben beim zweiten Sterne hervor; gewöhnlich bleibt nach dem Verdecken der kleine Stern unverändert, oder es treten wenigſtens nur unmerkliche Aenderungen ein.

Die Thatſache des Vorhandenſeins ſo zahlreicher blauer oder grüner Sterne in den Sternpaaren, die man Doppelſterne nennt, verdient in ſo höherem Grade Aufmerkſamkeit, als (wie ich in dem angeführten Werke ſchon bemerkte) unter den 60 bis 80 Tauſend iſolirter Sterne, deren Poſitionen in den aſtronomiſchen Verzeichniſſen aufgeführt werden, wohl kein einziger, wie ich glaube, in Betreff der Farbe mit einem anderen Zuſatze vorkommt, als weiß, roth und gelb. Es ſcheint alſo, als ob die phyſikaliſchen Bedingungen der Ausſtrahlung eines blauen oder grünen Lichtes nur bei den vielfachen Sternen eintreten.

Achtes Kapitel.

Epoche der Entdeckung der blauen Sterne.

Es hat mich intereſſirt nachzuforſchen, welcher Beobachter zuerſt das Vorhandenſein blauer Sterne bemerkt hat. Bei den Alten iſt nur die Rede von weißen und rothen Sternen; zu den letzteren rechneten ſie Arctur, Aldebaran, Pollux, Antares und α im Orion, welche Sterne ſämmtlich noch gegenwärtig röthlich erſcheinen. Sie zählten hierzu aber auch (dieſer Umſtand iſt ſehr merkwürdig) den Sirius, deſſen Weiße heutzutage Jedermann auffällt [3]). Es könnte alſo ſcheinen, als änderten einige Sterne mit der Zeit ihre Farbe. Folgendes iſt die erſte Stelle, in der, ſoweit meine Kenntniß reicht, der blauen Sterne Erwähnung geſchieht; ich finde ſie in Mariotte's Traité des couleurs, das im Jahre 1686 erſchien.

„Es gibt Sterne, die viel Roth enthalten, z. B. das Stierauge und das Herz des Scorpions; es gibt auch gelbe und blaue;“ und weiterhin: „Die roth oder gelb ſcheinenden Sterne müſſen ein ſehr

helles Licht besitzen, dessen Lebhaftigkeit durch irgendwelche Ausdünstungen in ihrer Umgebung geschwächt wird; die bläulich scheinenden haben nur ein schwaches Licht, aber rein und frei von Dünsten."

In einem Kataloge, den Dunlop im Jahre 1828 bekannt gemacht hat, wird am Südhimmel eine Sterngruppe von $3^1/_2$ Minuten im Durchmesser angeführt, die aus einer großen Menge bläulicher Sterne besteht. Derselbe Astronom berichtet auch von einem wirklichen Nebelflecke, d. h. von einer verwaschenen Masse leuchtenden Stoffes, dessen Farbe gleichfalls bläulich sein soll[4]). Diesseit des Aequators hat man nichts Aehnliches beobachtet.

Neuntes Kapitel.

Ueber die Erklärungen, welche man von der Färbung der vielfachen Sterne gegeben hat.

Man kennt das Phänomen der farbigen vielfachen Sterne erst seit zu wenigen Jahren, um gegenwärtig schon eine annehmbare Erklärung erwarten zu dürfen. Eine spätere Zeit und genaue Beobachtungen werden uns darüber Aufschluß geben, ob etwa die grünen oder blauen Sterne verlöschende Sonnen sind; ob nicht vielleicht die Farbenunterschiede bei diesen Gestirnen verschiedene Grade der Verbrennung andeuten; ob nicht die Färbung mit Vorherrschen der brechbarsten Strahlen, wie sie der kleinere Stern so häufig zeigt, vielleicht von der absorbirenden Kraft einer Atmosphäre herrührt, welche die Wirkung des meist helleren Hauptsternes hervorriefe, u. s. w. Beim Studium dieser Erscheinungen verläßt uns der Faden der Analogie, denn sicherlich müßte man dabei die gegenseitige Einwirkung in Betracht ziehn, welche zwei ungleich leuchtende Sonnen von unbekannten physikalischen Beschaffenheiten aufeinander ausüben. Nun haben auch durch die Experimente der Physiker nur die Beziehungen der Sonnenstrahlen zu terrestrischen Stoffen untersucht werden können, und überdies nur bei wenig erhöhten Temperaturen. Es wäre hiernach nicht unmöglich, daß die Beobachter bei dieser Frage über die Farben der Doppelsterne

noch lange Zeit auf das bloße Einsammeln von Thatsachen beschränkt blieben, und daß erst unsere Urenkel die Befriedigung haben werden, dieselbe mit physikalischen Gesetzen in Zusammenhang bringen zu können. Liegt aber nicht hierin Veranlassung zu doppelter Anstrengung und zu doppeltem Eifer? Oft schon hat bei astronomischen Beobachtungen Genauigkeit die Stelle einer langen Zeitdauer ersetzt. Ueberdies ist der Gedanke tröstend, wenn am Ende mühevoller Arbeiten die Hoffnung zu einem allgemeineren Resultate sich nicht erfüllt, daß die Entdeckung einer einzigen wohl beobachteten, wohl beschriebenen und richtig gewürdigten Thatsache unbestreitbar ein Schritt vorwärts in der Wissenschaft ist, während sinnreiche, verführerische Theorien, die mit fast allgemeiner Begeisterung aufgenommen wurden, häufig nichts als Rückschritte waren.

Wenn der neue Stern vom Jahre 1572 (9. Buch, 28. Kap. S. 354) die physische Constitution der beständigen Sterne hatte, so wäre die Erklärung zu verwerfen, derzufolge die blaue Farbe auf eine schwächere Verbrennung deutete. Denn dieser Stern, der zur Zeit seines ersten Aufloderns, am 11. November 1572, die hellsten Sterne am Himmel so sehr durch seinen Glanz überragte, daß er um Mittag mit bloßem Auge wahrgenommen wurde, war damals vollkommen weiß. Im Januar 1573 war sein schon merklich geschwächtes Licht gelb; späterhin nahm es die röthliche Farbe des Planeten Mars an, oder von Aldebaran, oder α im Orion; auf das Roth folgte, nach dem Berichte der damaligen Beobachter, das bleifarbene Weiß des Saturn, und letztere Färbung dauerte bis zum gänzlichen Verlöschen des Sternes. Nirgends eine Erwähnung der blauen Farbe. Auch der neue Stern vom Jahre 1604 zeigte sich niemals blau gefärbt. Zwei augenfällige Beispiele liefern also den Beweis, daß ein Stern neu entstehen kann, hierauf bis zur höchsten Gluth zunehmen und endlich bis zu vollständigem Verlöschen abnehmen, ohne sich jemals blau zu zeigen! Man darf indessen hierbei nicht unbemerkt lassen, daß, weil das Verschwinden der Sterne von 1572 und 1604 nur mit bloßen Augen beobachtet ist, man allenfalls noch behaupten könnte, die blaue Farbe sei erst dann entstanden, als diese Sterne beim Abnehmen ihres Lichtes schon anfingen zur Klasse der teleskopischen Sterne

zu gehören. Folgende Frage würde indeſſen nichtsdeſtoweniger beſtehen: Sind die neuen Sterne und die beſtändigen Sterne gleicher Natur? Die beſtändigen Sterne, wie unſere Sonne, glänzen vielleicht nur durch eine ſie umgebende gasförmige Atmoſphäre; eine eigenthümliche Eigenſchaft der Gaſe iſt es aber, bei eintretender Verdünnung blau zu werden.

Daß bei den verſchiedenen Phaſen ſowohl der neuen Sterne als der veränderlichen, die Hauptfarben fehlen, iſt eine merkwürdige Thatſache, aus welcher ſich über die Geſchwindigkeit des verſchieden gefärbten Lichtes wichtige Folgerungen herleiten laſſen.

Zehntes Kapitel.

Ob die bei vielfachen Sternen wahrgenommenen relativen Färbungen allezeit unverändert bleiben?

Könnte man ſich auf die Angaben in den Verzeichniſſen von William Herſchel und von Struve vollkommen verlaſſen, ſo möchten die Farben der vielfachen Sterne ſchon im Laufe weniger Jahre große Veränderungen erleiden.

Sterne, die William Herſchel als gelb bezeichnet, ſind gegenwärtig nach Struve orangefarben und roth. Einige andere, die dem Aſtronomen zu Slough vollkommen weiß ſchienen, ſind den neuen Beobachtungen zufolge goldgelb, roth, grün, oder ſogar blaugrün; ſo daß die Doppelſterne innerhalb funfzig Jahren hiernach ihre Farbe merklich geändert hätten.

Elftes Kapitel.

Warum die Doppelſterne plötzlich Gegenſtand ſo vieler eifrigen Beobachtungen geworden ſind?

Ich habe im 6. Kap. (S. 394) die Bemerkung gemacht, daß die beiden geſonderten Sterne, welche einen Doppelſtern ausmachen, im Allgemeinen von ſehr ungleicher Helligkeit ſind. Jedes Paar, in welchem dieſer erhebliche Helligkeitsunterſchied von der Entfernung der beiden Geſtirne herrührte, würde auf ſehr einfache Weiſe zu einem Urtheile über die Entfernung des helleren Sternes von der Erde führen. Dieſe Beobachtungsart hatte, wie wir oben geſehen haben (9. Buch, 33. Kap. S. 375) ſchon Galilei in Vorſchlag gebracht; der Dr. Long brachte ſie in Anwendung, und William Herſchel benutzte ſie bald darauf bei denjenigen damals verzeichneten Doppelſternen, welche die meiſte Ausſicht auf Erfolg zu bieten ſchienen. Wie es aber häufig in der Welt geſchieht, (obgleich nicht Jeder aufrichtig genug iſt, es einzugeſtehen), ſo fand der berühmte Aſtronom zu Slough, indem er nach einem beſtimmten Gegenſtande ſuchte, einen durchaus verſchiedenen; er entdeckte nämlich, daß die ungleich hellen Sterne, die ein Sternpaar bilden, in den meiſten Fällen nicht, wie man bisher geglaubt hatte, von einander unabhängig ſind, und ſich nur zufällig auf zwei ſehr benachbarten Geſichtslinien befinden. Es zeigte ſich, daß die Verbindung zweier ſolchen Sterne nicht eine bloße Wirkung der Projection oder der Perſpective iſt, ſondern daß dieſelben aneinander gebunden ſind, und wirkliche Syſteme bilden; daß ſich ihre gegenſeitige Lage fortwährend verändert, und daß die kleinen Sterne ſich ebenſo um die großen bewegen, wie die Planeten Mars, Jupiter, Saturn u. ſ. w. um die Sonne laufen.

Die beiden Sterne bewegen ſich, nach dem mathematiſchen Ausdrucke, um ihren gemeinſchaftlichen Schwerpunkt; aber die gewöhnlichen aſtronomiſchen Beobachtungen geben uns nur die Reihenfolge der Stellungen des kleineren Sternes in Bezug auf den größern, und wenn man in der Praxis nur die Grundlagen einer relativen Bewegung erhält, ſo iſt klar, daß auch nur eine relative Bahn aus der Behandlung dieſer Grundlagen hervorgehen kann. Man wird, mit

einem Worte, die Curve erhalten, in welcher ein auf dem größeren Sterne befindlicher Beobachter, der sich für unbeweglich hielte, den kleineren Stern würde fortrücken sehen. Ganz dasselbe thut man übrigens bei Bestimmung der Bahnen von Jupiter, Saturn u. s. w.; denn fortwährend bezieht man die Stellung dieser Planeten auf die Sonne, ohne zu untersuchen ob dieses Gestirn eine eigene Fortbewegung im Raume hat oder nicht.

Infolge dieser Umlaufsbewegungen, die ich soeben bemerklich gemacht habe, befindet sich der kleinere Stern bisweilen genau östlich, zu einer andern Zeit genau westlich vom größeren. Zu gewissen Epochen steht dieser bewegliche Stern genau im Norden des helleren, welcher der Mittelpunkt der Bewegung zu sein scheint; zu anderen Zeiten dagegen erblickt man ihn auf der entgegengesetzten Seite oder im Süden.

Zwölftes Kapitel.

Messung der relativen Ortsveränderung der Doppelsterne.

Um das Stattfinden der relativen Ortsveränderung der beiden Sterne, aus denen ein Doppelsternpaar besteht, überhaupt nur zu ermitteln, dazu würden die vorstehenden einfachen Betrachtungen ausreichen; nachdem aber die Bewegung einmal erkannt war, wünschte man auch die Gesetze kennen zu lernen, nach welchen sie stattfindet. Dazu mußte man die Beobachtungen vervielfältigen und ihnen Genauigkeit verschaffen mittelst einer Methode, die zu beschreiben ich jetzt versuchen will.

Im Brennpunkte eines Fernrohrs wollen wir zwei sehr feine Fäden aufspannen; der eine soll durch den Mittelpunkt des kreisrunden Raumes gehen, den man das Gesichtsfeld nennt, und dieser Faden soll fest, d. h. unveränderlich mit dem Rohre verbunden bleiben. Der andere Faden sei um eben diesen Mittelpunkt drehbar, so daß er, nach unserm Belieben, entweder mit dem festen Faden zusammenfallen kann, oder mit ihm nach rechts und nach links, nach oben und nach unten

alle möglichen Winkel bilden. Die Ablesung dieser Winkel wird an einem getheilten Kreise geschehen, der innen oder außen angebracht ist.

Will man nun eine Beobachtung machen, so wird der helle Stern zuerst so genau als möglich auf den Kreuzungspunkt der beiden Fäden gestellt. Hierauf dreht man den beweglichen Faden so lange, bis er über den Mittelpunkt des zweiten Sternes hinweggeht. Indem man nun den Grad abliest, bei welchem den bewegliche Faden steht, lernt man den Winkel kennen, den mit der Richtung des festen Fadens eine Gesichtslinie machen würde, die vom Mittelpunkte des größeren Sternes nach dem Mittelpunkte des anderen ginge.

Zufolge der bei einer anderen Gelegenheit zu erläuternden Aufstellungsart des Fernrohrs, und auch infolge der besonderen Richtung, die man dem festen Faden gegeben hat, erhält man immer dieselbe Zahl, gleichviel zu welcher Stunde man die Beobachtung des Winkels anstellt. Ist nun das Fernrohr in dem Augenblicke auf den Stern gerichtet, wo dieser bei Nacht den obersten Theil seiner Bahn durchläuft, d. h. in den Meridian tritt, so steht der feste Faden horizontal.

Das angewandte Instrument gibt also für den genannten Augenblick, d. h. für den Augenblick des Meridiandurchganges, den Winkel an, welchen die den größeren Stern mit dem kleineren verbindende gerade Linie mit einer Horizontallinie durch ersteren bildet. Diesen Winkel nennt man den Positionswinkel.

Nach dieser Methode werden die Beobachtungen verschiedener Astronomen, verschiedener Tage, verschiedener Jahre untereinander vergleichbar. Die Tafel der nacheinander beobachteten Positionswinkel lehrt uns auf einen einzigen Blick, ob der kleinere Stern sich um den größeren von West nach Ost oder von Ost nach West bewegt; ob diese Bewegung gleichförmig oder ungleichförmig ist, und welches die Punkte der größten und der geringsten Geschwindigkeit sind.

Ein anderes aus zwei Fäden, aus einem festen und einem dem ersteren parallel beweglichen Faden bestehendes System (eine Vorrichtung, die man Mikrometer nennt, 3. Buch, 18. Kap. S. 111) dient zur Entscheidung der Frage, ob die scheinbare Entfernung der Sterne constant oder veränderlich ist, und im letzteren Falle zur Be-

ſtimmung der Grenzen, zwiſchen welchen dieſe Veränderung eingeſchloſſen iſt.

Mehr liefert die Beobachtung nicht. Dieſe Daten genügen übrigens vollſtändig, um daraus durch Rechnung die Geſtalt der krummen Linie, die jeder Stern beſchreibt, herzuleiten, wenigſtens unter der Vorausſetzung, daß die Geſtirne auch in ſo entlegenen Regionen die Kepp-ler'ſchen Geſetze der elliptiſchen Bewegung befolgen, Geſetze, auf welche wir ſpäter mit der Ausführlichkeit eingehen werden, welche ihre Wichtigkeit bedingt.

Im Allgemeinen hat man vier Werthe des Poſitionswinkels und und der ſcheinbaren mikrometriſchen Entfernungen für bekannte Epochen nöthig, um Geſtalt und Lage der Curve zu beſtimmen, welche der kleinere Stern um den größeren beſchreibt.

Geht die Ebene, in welcher dieſe Curve liegt, zufälliger Weiſe durch die Erde, ſo ſcheint die Bewegung des Begleiters in gerader Linie vor ſich zu gehen, und man kann dann keine Aenderungen des Poſitionswinkels meſſen; in dieſem Falle beſchränkt ſich Alles auf Mikrometer-Beobachtungen der Abſtände, und man braucht alsdann fünf ſolcher Beobachtungen um zu demſelben Reſultate zu kommen, welches in der vorigen Vorausſetzung vier erreichen ließen.

Hat endlich der Beobachter aus Mangel eines Mikrometers nur Aenderungen des Winkels beobachtet, ſo ſind ſechs zu bekannten Epochen gemeſſene Poſitionswinkel zur Berechnung der Geſtalt der Bahn des kleineren Sternes nothwendig.

Es hat keineswegs meine Abſicht ſein können, hier ſelbſt nur eine ungefähre Vorſtellung von den algebraiſchen Rechnungen geben zu wollen, vermittelſt derer man diejenigen Probleme auflöſt, welche ſich auf Geſtalt und Lage der Doppelſternbahnen beziehen. Ich werde mich darauf beſchränken, die Reſultate davon mitzutheilen*). Die

*) Savary hat zuerſt den Weg gezeigt, auf welchem aus den Beobachtungen der Doppelſterne die Natur der vom Begleiter beſchriebenen Bahn hergeleitet werden kann. Es wird mir, denke ich, verſtattet ſein, mir Glück zu wünſchen, daß ich dieſen Gegenſtand meinem jungen, ſo beklagenswerthen Freunde zur Bearbeitung vorgeſchlagen habe. Ueber dieſen Punkt äußert er ſich in ſeiner Abhandlung, die man unter den Zuſätzen zur Connaissance des temps für das Jahr 1830, S. 171

erſte, welche man überhaupt kennen gelernt hat, nämlich die Elemente der Bahn des Begleiters von ξ im Großen Bären, rühren von Savary her, meinem ehemaligen Collegen in der Akademie der Wiſſenſchaften und im Längenbureau, der dieſelben durch ihm eigenthümliche Methoden gefunden hat. Die übrigen Bahnen verdankt man Beſſel, Encke, John Herſchel und Villarceau.

Namen der Doppelſterne.

	Zeit des Umlaufs des kleineren Sternes um den größeren.	Halbaxe der Bahn, ſo wie ſie ſenkrecht von der Erde aus erſcheinen würde.	Excentricität der Bahn*).
ζ im Herkules	36 Jahre.	1"2	0,44
η in der Krone	43 „	—	—[5])
ξ im Großen Bären .	58 „	3,8	0,42[6])
ζ im Krebſe	58 „	0,9	—[7])
α im Centaur	78 „	12,1	0,71
70. im Ophiuchus .	88 „	4,4	0,47
Caſtor	253 „	8,1	0,76
σ in der Krone . . .	287 „	3,7	0,76
61. im Schwan . . .	452 „	15,4	—
γ in der Jungfrau . .	629 „	12,1	0,83[8])
γ im Löwen	1200 „	—	—

Unter dieſen Sternen hat einer, der Begleiter von η in der Krone, den ganzen Umfang ſeiner Bahn beſchrieben, ſeitdem Herſchel zuerſt den Poſitionswinkel deſſelben beobachtete; gegenwärtig iſt er ſogar ſchon weit in ſeinem zweiten Umlaufe vorgerückt. Die älteſten Beobachtungen von ξ im Großen Bären als Doppelſtern ſind vom Jahre 1782; da die Dauer ſeiner Periode 58 Jahre beträgt, ſo hatte

findet, folgendermaßen: „Lange Zeit fehlten der pariſer Sternwarte die zu wiederholten und genaueren Meſſungen der relativen Stellung der Doppelſterne nöthigen Inſtrumente; ſie wird nun aber in Kurzem das Gambey'ſche Aequatorial beſitzen. Unter Umſtänden, welche dieſer Gattung von Unterſuchungen ſo vorzüglich günſtig ſind, hat Herr Arago die Güte gehabt mich zur Abfaſſung vorſtehenden Aufſatzes zu veranlaſſen."

Seit jener Zeit haben die Herren Encke, Beſſel, John Herſchel, Mädler und Villarceau Rechnungsverfahren bekannt gemacht, welche etwas von dem des jugendlichen Mitgliedes der Akademie abweichen.

*) Ich erinnere daran daß die Excentricität die Entfernung zwiſchen Mittelpunkt und Brennpunkt einer Ellipſe iſt. Die Zahlen in dieſer Columne ſind das Verhältniß der Excentricität zur halben großen Axe.

der Fixsternbegleiter von ξ im Jahre 1849 einen ganzen Umlauf unter unſern Augen vollbracht.

Auf S. 305 habe ich ſchon bemerkt, daß wenn die Verlängerung der Ebene, in welcher die Bahn eines kleineren Sternes enthalten iſt, zufällig durch die Erde ginge, oder wenn uns dieſe Bahn, wie man zu ſagen pflegt, ihre ſchmale Seite zukehrte, der Begleiter ſich anſcheinend bald in einer, bald in der entgegengeſetzten Richtung bewegen würde, ſtets aber auf einer geraden, durch den Hauptſtern gehenden Linie. Einen ſolchen Fall haben die Aſtronomen wirklich beobachtet.

Nach William Herſchel iſt der Stern τ im Schlangenträger doppelt, und die beiden getrennten Sterne, aus denen τ beſteht, waren ſogar zu der Zeit, als dieſer große Beobachter ſeinen erſten Katalog der vielfachen Sterne aufſtellte, ziemlich weit von einander entfernt. Gegenwärtig ſtehen beide ſo nahe bei einander, oder projiciren ſich ſo genau aufeinander, daß ſelbſt Struve mit ſeinem großen fraunhoferſchen Fernrohre nicht die geringſte Spur einer Duplicität erkennen konnte. Was hätten Bradley, Lacaille, Tobias Mayer geſagt, wenn ihnen damals verkündigt worden wäre, daß an dem Himmel, den ſie ſo gründlich durchforſcht hatten, einander bedeckende Sterne vorhanden ſeien!

ζ im Orion hat das Gegenſtück zu τ im Schlangenträger dargeboten: Dieſer Stern iſt gegenwärtig leicht als Doppelſtern zu erkennen, während William Herſchel ihn ehemals als entſchieden einfach in ſeinem Kataloge aufführte.

Bei γ in der Jungfrau iſt die Bahnebene gegen die Geſichtslinie von der Erde ſchon hinreichend geneigt, um die Entfernung des Begleiters vom Hauptſterne, die im Jahre 1756 6″5 betrug, im Jahre 1829 nur 1″8 groß erſcheinen zu laſſen; ſeitdem iſt dieſe Entfernung ſchon wieder beträchtlich gewachſen.

Der Theil der Aſtronomie, welcher von den Ortsveränderungen im Sternſyſteme handelt, iſt ſehr neuen Urſprungs, und deshalb darf man ſich nicht wundern, daß über die relativen Bewegungen der dreifachen Sterne noch ſo wenig bekannt iſt. Indeſſen haben die Beobachtungen doch ſchon erwieſen, daß ſich bei ζ im Krebſe die beiden ſchwächeren Sterne um den Hauptſtern bewegen. Bei ψ in der Caſſiopeja, einem Sterne, der aus einem ziemlich hellen Hauptſterne und

zwei kleinen, einander äußerſt naheſtehenden Begleitern beſteht, wird man wahrſcheinlich ſehen, daß dieſe letzteren ſich umeinander, und beide zuſammen um den hellen Stern bewegen.

Dreizehntes Kapitel.

Folgerungen aus der Natur der bei den Doppelſternen beobachteten Bewegungen für die Allgemeinheit der Newton'ſchen Attraction.

Die algebraiſchen Formeln, durch welche es gelungen iſt alle Einzelheiten der merkwürdigen elliptiſchen Bewegungen bei den Doppelſternen aufzuhellen, beruhen ganz auf der Vorausſetzung, daß die Bewegungen dieſer Sterne genau die Keppler'ſchen Geſetze der elliptiſchen Bewegung befolgen, oder was daſſelbe iſt, auf der Vorausſetzung, daß ſich der größere und der kleinere Stern im umgekehrten Verhältniſſe des Quadrats ihrer Abſtände anziehen. Zur Bahnbeſtimmung jedes Sternes ſind nur vier, fünf oder höchſtens ſechs Meſſungen der Poſitionswinkel und der ſcheinbaren Abſtände erforderlich. Diejenigen Beobachtungen, welche man bei dieſen erſten Rechnungen nicht verwendet, gleichviel ob ſie früher oder ſpäter als die übrigen fallen, oder zwiſchen ihnen liegen, gewähren ebenſo viele Mittel zu einer feinen und entſcheidenden Prüfung der Vorausſetzung, von welcher man ausging: man hat nämlich nur zu unterſuchen, ob dieſe Beobachtungen mit einer Bahn übereinſtimmen, welche, wenn ſie auf einer falſchen Vorausſetzung beruht, nicht die wahre ſein kann. Man hat nun vielfache Vergleichungen angeſtellt zwiſchen den wirklich beobachteten Poſitionen der Fixſternbegleiter, und den aus den berechneten Ellipſen hergeleiteten Oertern derſelben. Nirgend haben ſich dabei größere Unterſchiede ergeben, als die kleinen Unſicherheiten bei dieſer ſchwierigen Gattung von Beobachtungen mit ſich bringen.

So hatten denn die Berechner der Doppelſtern-Bahnen bei der Annahme, daß es bis zu den äußerſten Grenzen der ſichtbaren Welt hin eine anziehende Kraft gibt, die im umgekehrten Verhältniſſe des Quadrats der Abſtände wirkt, das Wahre getroffen; die Sterne ſtehen

unter dem Einflusse derselben Kraft, welche in unserem Sonnensysteme alle Bewegungen der Planeten und Monde regelt, und die berühmte Newton'sche Attraction, deren allgemeine Gültigkeit bisher nur für diejenige Region des Raumes bewiesen war, welche der sonnenfernste Planet, Neptun, einschloß, wird dadurch in buchstäblicher Bedeutung des Wortes die Welt-Kraft.

Man darf durchaus nicht meinen, daß man der Newton'schen Entdeckung ohne Weiteres diese unbegrenzte Ausdehnung beilegen konnte; das Vorhandensein einer Anziehung war zwar für alle Theile des aus der Sonne und den benachbarten Planeten bestehenden Systemes, eine höchst wichtige Thatsache, von welcher man die Gesetze entdeckt und die Folgerungen mit wunderbarem Glücke abgeleitet hatte; daß aber die Anziehungskraft der Materie überhaupt inwohne, und daß nicht große Körper in andern Regionen, in andern Systemen, ohne gegenseitige Anziehung bestehen könnten, war damit noch keineswegs erwiesen. Um so weniger wäre man berechtigt gewesen, für das Gesetz vom Quadrate der Abstände ganz allgemeine Gültigkeit in Anspruch zu nehmen. Gegenwärtig aber, wiederhole ich, sind infolge der Beobachtung der Doppelsterne alle Zweifel beseitigt; und mehr brauchte es nicht um das lebhafte Interesse zu rechtfertigen, welches bei den Astronomen die relativen Ortsveränderungen der Sterne erregt haben. Uebrigens wird man in den spätern Kapiteln erfahren, welche Zukunft dieser neue Zweig der Wissenschaft in sich birgt.

Vierzehntes Kapitel.

Wenn die Entfernungen der Doppelsterne von der Erde bekannt sein werden, wird man auch die Massen der Sterne mit bekannten relativen Bewegungen leicht mit der Erdmasse oder mit der Sonnenmasse vergleichen können.

Die unmittelbare Beobachtung ergibt bei den Doppelsternen die Winkelgeschwindigkeit des kleineren Sternes um den größeren; kennten wir nun in Meilen den Halbmesser der vom kleineren Sterne durch-

laufenen Bahn, so wäre es leicht, in Bruchtheilen der Meile oder in Metern zu finden, um wieviel der Begleiter in einer Secunde gegen den Hauptstern fällt. Durch Vergleichung dieser Größe mit dem Falle eines Körpers, z. B. einer Kugel auf der Erde, oder mit dem Falle eines Körpers gegen die Sonne hin, würde man (wenn vorher die drei Zahlen zufolge des umgekehrten Verhältnisses des Quadrats der Abstände reducirt werden), das Verhältniß der Masse der größeren Sterne zur Erdmasse oder zur Sonnenmasse erhalten. Bis jetzt kennt man leider von den Halbmessern der Bahnen der Begleiter nur die Winkel, unter welchen sie von der Erde aus erscheinen. Um diese Winkel in Längenmaaß zu verwandeln, etwa in Meilen oder in Meter, müßte man wissen, wie weit wir von den Sternen entfernt sind. Werden aber diese Entfernungen einmal bestimmt sein, so werden die Halbmesser der Bahnen in Meilen daraus folgen, und die übrige Rechnung wird keine Schwierigkeit haben. Schon früher haben wir gesehen (9. Buch, 32. Kap. S. 373), daß die Entfernungen von der Erde erst für eine geringe Anzahl von Sternen näherungsweise bekannt sind.

Indem die Wissenschaft durch Kenntniß der Bewegung der Doppelsterne bereichert wurde, hat sie einen sehr großen Schritt zur Auflösung eines Problems gethan, das über die menschliche Fassungskraft hinauszugehen schien. Sobald die Entfernung eines Doppelsternes von der Erde genau bestimmt sein wird, ist man im Stande den Stern zu wiegen, und weiß wie viel tausend Mal mehr Materie als unsere Erde er enthält; man dringt auf diese Weise in seine physische Beschaffenheit ein, obgleich er mehr als 60 Billionen Meilen von uns entfernt ist, obgleich er sich in den mächtigsten Teleskopen nur als ein strahlender Punkt ohne merkliche Größe zeigt.

Genau genommen hängt die Geschwindigkeit, mit welcher eine Kugel zur Erde fällt, von der Gesammtmasse der Erde und der Kugel ab. Ebenso wird der Fall der Erde gegen die Sonne gleichfalls durch die Summe der Erd- und der Sonnenmasse bestimmt, und die Rechnung ergibt also nur das Verhältniß dieser Massensummen, nicht aber das Verhältniß der Einzelmassen. Bei der äußersten Kleinheit der Kugel im Verhältnisse zur Erde, und der Erde im Verhältnisse zur Sonne, ist jedoch klar, daß man ohne merklichen Fehler annehmen

darf, man berechne unmittelbar die Erdmasse oder die Sonnenmasse. Anders ist es aber bei den Doppelsternen. Dort ist bisweilen der Begleiter nur so wenig vom Hauptsterne verschieden, wenigstens nach der Helligkeit zu urtheilen, daß man das Ergebniß der angedeuteten Rechnung nur als Summe der Massen beider Sterne betrachten kann.

Will man den 61. Stern im Schwane als einen Doppelstern betrachten (was übrigens Struve neuerdings in Zweifel gezogen hat), und nimmt man an, die Umlaufszeit dieser beiden Sterne um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt betrage, wie aus der Vergleichung der Beobachtungen von 1781 mit denen von 1851 hervorzugehen scheint, 500 Jahre, so ergibt sich, daß die Summe der Massen von beiden dies System bildenden Sternen 0,353 beträgt, die Sonnenmasse gleich Eins gesetzt.

Da α im Centaur ein Doppelstern ist, und seine Entfernung von der Erde aus Maclear's Rechnungen abgeleitet werden kann, so sollte es in diesem Falle auch möglich sein, die Summe der Massen der beiden Sterne zu berechnen, die α im Centaur bilden. Aber man kennt die Dimensionen der Bahn, in welcher sich der kleinere Stern um den größeren bewegt, nicht mit hinreichender Genauigkeit, um großes Vertrauen in das Resultat setzen zu können; aus diesem Grunde übergehe ich es hier.

Fünfzehntes Kapitel.

Die Beobachtungen der eigentlichen Doppelsterne können einst zur Bestimmung entweder der Entfernung dieser Sternpaare von der Erde führen, oder wenigstens zu Grenzen, zwischen denen dieselbe nothwendig fallen muß.

Durch die Methode der Parallaxen (9. Buch, 32. Kap. S. 366) ist bisher nur die Grenze der Entfernung festgesetzt worden, innerhalb welcher sich die beobachteten Sterne nicht befinden. So haben die Winkelhöhen des 61. Sternes im Schwane die beiden Sterne dieses Paares wenigstens 589 tausend Mal weiter als die Sonne von der Erde gesetzt; es bleibt aber durchaus unbekannt, wieviel man zu dieser

unteren Grenze hinzufügen müßte, um auf die eigentliche Entfernung zu kommen. Wollte Jemand z. B. behaupten, die wahre Entfernung des 61. Sternes im Schwane sei 100 Millionen Mal größer als die untere durch die Parallaxenmethode gefundene Grenze, so könnte man ihm nicht widersprechen; denn diese Zahl würde mit den Beobachtungen nicht unverträglicher sein, als eine 1 Million Mal kleinere oder als eine 1 Million Mal größere. Bei diesem Zustande der Wissenschaft müßte es sehr wünschenswerth sein, ein Mittel ausfindig zu machen, um eine obere Grenze der bereits gefundenen untern Grenze zur Seite zu setzen. Dies Mittel aber wird früher oder später, wie jetzt gezeigt werden soll, die Beobachtung der Doppelsterne bieten.

Wenn die krumme Linie (ich will sie kreisförmig annehmen), welche der kleinere Stern eines Doppelsternpaares um den größeren beschreibt, ohne Verkürzung in ihrer ganzen Breite gesehen wird, d. h. wenn die Ebene, in welcher sie enthalten ist, auf der von der Erde zum Centralsterne geführten Linie senkrecht steht, so bleibt der Sternsatellit während seines ganzen Umlaufs fortwährend in derselben Entfernung von der Erde; denn dieser Sternsatellit wird im Verlaufe der Zeit, seiner eigenen Bewegung zufolge, alle möglichen Stellungen auf dem Umfange des kleinen Kreises einnehmen, und es wird Niemand bezweifeln, daß alle Punkte eines Kreisumfanges, genau von vorn gesehen, gleichweit vom Auge des Beobachters entfernt sind.

Wir wollen durch den Mittelpunkt der Kreisbahn des Sternsatelliten einen Horizontaldurchmesser legen, wodurch diese Bahn in zwei gleiche Theile, einen oberen und einen unteren zerfällt. Hierauf wollen wir die Ebene, in welcher die Curve enthalten ist, um diesen Horizontaldurchmesser drehen, und zwar beispielsweise in der Richtung, daß sich der untere Theil vorwärts oder nach dem Beobachter hin richtet, während der obere sich rückwärts wendet. Bei senkrechter Ansicht war die Bahn des kleineren Sternes kreisförmig; in der neuen, schiefen Stellung wird sie länglich erscheinen; am wichtigsten ist aber, daß sich nun nicht alle Theile wirklich in gleichem Abstande vom Beobachter befinden werden. In demjenigen Halbkreise, der sich aus der senkrechten Lage nach vorn hin gedreht hat, wird nothwendig ein Punkt der Erde näher sein, als alle übrigen. Der diesem diametral gegenüber-

ſtehende Punkt wird dagegen der entfernteſte ſein. Auf dem Wege vom erſten zum zweiten Punkte wird ſich der Fixſternbegleiter mehr und mehr vom Beobachter entfernen; ſich ihm dagegen nähern, wenn er vom zweiten Punkte zum erſten zurückkehrt. Da nun das Licht eine angebbare Geſchwindigkeit hat, ſo kann dieſer zwiefache Umſtand merkliche Verſchiedenheiten in der Art bewirken, wie der Stern beide Hälften zu durchlaufen ſcheint, die eine beim Aufſteigen und die andere beim Niederſteigen in ſeiner Bahn. Unterſuchen wir näher wie ſich ein leuchtendes, mit eigener Bewegung begabtes Geſtirn dem Auge darbieten wird.

Zuerſt denken wir uns dies Geſtirn in einer beſtimmten Lage, von welcher aus es geradlinige Strahlen nach allen Richtungen hin ausſenden wird, Strahlen, deren verlängerte Richtungen, gleichviel an welchem Orte und zu welcher Zeit ſie beobachtet werden, auf den Ort hinweiſen, welchen der ſtrahlende Körper im Augenblicke ihres Ausfahrens einnahm.

Von dieſen Strahlen wird einer die Erde erreichen, und um dahin zu gelangen mag er eine beträchtliche Zeit, z. B. einen Monat gebraucht haben. Während dieſer Zeit nun wird das Geſtirn nicht unverrückt geſtanden, ſondern ſeinen urſprünglichen Ort verlaſſen haben, und ſo kommt es, daß wir den Stern an ſeinem erſten Orte zu einer Zeit erblicken werden, wo er ihn nicht mehr einnimmt.

Nehmen wir jetzt an, um von einer beſtimmten Vorſtellung auszugehen, daß der Stern, während er ſich von der Erde entfernte, einen Curvenbogen von einigem Umfange, etwa einen Kreisbogen durchlaufen habe, der bei ſchräger Stellung im Raume, mit dem einen Ende uns näher iſt als mit dem andern.

Ich ſetze, wir erblickten den beweglichen Stern an dem der Erde nächſtliegenden Endpunkte dieſes Bogens, dreißig Tage nachdem er denſelben bereits verlaſſen hat. Dann bedarf es mehr als dreißig Tage, damit uns das Licht von dem andern, entfernteren Ende erreiche. Das Geſtirn wird alſo in dieſem zweiten Endpunkte vor mehr als dreißig Tagen geſtanden, ja ihn bereits verlaſſen haben, wenn wir von der Erde aus ihn an dieſem Punkte eintreffen ſehen. Der Tag dieſer letzten Beobachtung liegt alſo um mehr als dreißig Tage ſpäter als

der Tag, an welchem der Stern wirklich am Endpunkte des Bogens angekommen ist; ziehen wir also ab vom Datum dieser Beobachtung das Datum des beobachteten Abganges, dessen Fehler, unserer Voraussetzung zufolge, genau dreißig Tage betrug; so wird der Unterschied größer sein als derjenige, den man erhalten würde, wenn man die (als bekannt vorausgesetzten) Zeiten der wirklichen Durchgänge des Gestirns durch die beobachteten Punkte voneinander abzöge.

Hätten wir dem beweglichen Gestirne, statt es vom nächsten Punkte zum entferntesten übergehen zu lassen, eine Bewegung in entgegengesetzter Richtung beigelegt; wäre also der Punkt der ersten Beobachtung entfernter gewesen, als der Punkt der zweiten, so leuchtet ein, daß der Unterschied zwischen den beobachteten Durchgängen, d. h. den Durchgängen so wie sie infolge der Fortpflanzung des Lichtes erscheinen, statt größer vielmehr kleiner sein würde, als der Unterschied zwischen den wirklichen Durchgängen.

Ganz allgemein läßt sich also behaupten, daß wenn sich ein Gestirn in krummliniger Bahn von der Erde mehr und mehr entfernt, die von demselben ausgehenden Lichtstrahlen uns immer später und später die Richtungen anzeigen, in denen sich der Stern befunden hat. Um aus der ersten Stellung zur andern zu gelangen, wird er also scheinbar mehr Zeit aufwenden, als in Wirklichkeit geschieht. Das Gegentheil tritt nothwendiger Weise ein, wenn sich das Gestirn in seinem Laufe uns nähert. Nun müssen sich aber die beiden Hälften der Bahn eines Doppelsterns genau unter den soeben angegebenen Bedingungen befinden, sobald die Bahnebene schief gegen die Gesichtslinie von der Erde zum Hauptsterne liegt. Der Sternbegleiter wird also, um es mathematisch auszudrücken, von der Erde aus gesehen mehr Zeit aufwenden um die aufsteigende Hälfte seiner Bahn zu beschreiben, diejenige nämlich, in welcher er sich fortwährend von uns entfernt, als die andere Hälfte, in welcher er sich uns nähert. Ich will nun noch zeigen, daß man die Entfernung dieses Sternbegleiters von der Erde aus dem beobachteten Unterschiede zwischen der Dauer der beiden entgegengesetzten halben Umläufe, sobald dieser Unterschied einmal genau bestimmt sein wird, herleiten kann.

Bei Erwägung der obigen Erläuterungen sieht man leicht, daß

die Dauer des aufsteigenden halben Umlaufs des Begleiters die Dauer eines wirklichen halben Umlaufs um so viele Tage und Bruchtheile von Tagen übertrifft, als das Licht brauchen würde, die Anzahl von Meilen zu durchlaufen, um welche während dieses halben Umlaufs der Abstand des Begleiters von der Erde zugenommen hat. Ebenso einleuchtend ist auch, daß die Dauer des halben niedersteigenden Umlaufs um dieselbe Anzahl von Tagen und Bruchtheilen von Tagen geringer ist, als die Dauer des wirklichen halben Umlaufs, weil sich uns der Begleiter in seinem Rücklaufe um ebensoviel nähert, als er sich vorher von uns entfernte. Schließlich werden also die beiden beobachteten Halbumläufe um die doppelte Zeit untereinander verschieden sein, welche das Licht gebraucht die Anzahl von Meilen zu durchlaufen, um welche sich die Entfernung des Begleiters von der Erde zwischen seinen beiden äußersten Stellungen ändert.

Wenn wir also die Zeitdauern der beiden beobachteten Halbumläufe voneinander abziehen, und diesen Unterschied halbiren; wenn wir ferner diese Hälfte in Secunden verwandeln, 86400 Secunden auf den Tag gerechnet, und die ganze Summe der so erhaltenen Secunden durch die Anzahl von Meilen multipliciren, welche das Licht in einer Secunde durchläuft: so wird das Product „der in Meilen ausgedrückte Betrag der Größe sein, um welche sich der Begleiter des Sternes von der Erde entfernt, wenn er aus dem nächstliegenden Punkte seiner Bahn in den diametral entgegengesetzten übergeht."

Lage und Dimensionen der Bahn eines Satelliten stehen in nothwendigem Zusammenhange mit der Gesammtgröße, um welche sich dieser Satellit bei jedem seiner Umläufe der Erde nähert, und darauf wieder von ihr entfernt. Sind die Dimensionen der Bahn bekannt, so erhält man daraus durch eine leichte Rechnung den Betrag der Aenderungen in der Entfernung; und umgekehrt schließt man aus dem Betrage dieser Aenderungen auf die Dimensionen der Bahn. Nun habe ich aber soeben gezeigt, wie der Astronom in gewissen Fällen, durch die Beobachtung selbst, in Meilen bestimmt, wieviel sich der Abstand eines Sternsatelliten von der Erde ändert; in diesen Fällen ist man also auch im Stande die große Axe der elliptischen Bahn, die der Stern zu beschreiben scheint, in Meilen zu bestimmen. Den Neigungs-

winkel, unter welchem wir die große Axe sehen, findet man aus der Lage der Bahnebene; überdies lehrt uns das Mikrometer wie groß diese Axe erscheint, d. h. wieviele Secunden sie beträgt. Jeder Feldmesser ist aber im Stande die Anzahl von Meilen anzugeben, um welche er von einer gegebenen Grundlinie entfernt ist, sobald man ihm die Neigung dieser Grundlinie gegen die Gesichtslinie, ihre absolute Länge nnd den Winkel, unter dem sie erscheint, mittheilt. Genau dieselbe Rechnung muß der Astronom ausführen, mit dem einzigen Unterschiede, daß er es mit viel größeren Zahlen zu thun hat. Für ihn wird die Grundlinie der Durchmesser der von einem Sterne durchlaufenen Bahn sein; aber was er sucht und findet, ist ja auch die Entfernung dieses Sternes von der Erde.

Savary hat das Verdienst, zuerst darauf hingewiesen zu haben, welche Rolle die successive Fortpflanzung des Lichtes einst in den Erscheinungen der Doppelsterne spielen kann; aber wahrscheinlich weil er fürchtete, es werde wegen der Langsamkeit in der Bewegung der Sternsatelliten nur sehr schwer gelingen, den Zeitunterschied zwischen ihren halben aufsteigenden und niedersteigenden Umläufen zu ermitteln, hat er sich darauf beschränkt, die Beobachtungen dieser Zeitdauern nicht als ein Mittel darzustellen, um zu einer absoluten Entfernung, sondern vielmehr um zu einer Grenze zu gelangen. Wollte man der Methode nur diese Tragweite geben, so müßte man sie folgendermaßen darstellen.

Angenommen, eine genaue Prüfung einer Reihe gemessener Positionswinkel habe ergeben, daß die Dauer des aufsteigenden halben Umlaufs eines Fixsternbegleiters nur um zwanzig Tage die Dauer des niedersteigenden halben Umlaufs übertreffe; sogleich wird die Gesammtgröße, um welche sich der Stern, während er von einer äußersten Stellung in die andere übergeht, der Erde nähert oder von ihr entfernt, nicht größer sein können, als die Anzahl von Meilen, welche das Licht innerhalb zehn Tagen durchläuft.

Nehmen wir einmal diese obere Grenze als wirklichen Werth der Gesammtänderung der Entfernung des Sternes an, und suchen wir, wie soeben geschah, in Meilen die Länge der großen Axe der Stern-Bahn. Wenn wir von einer Grenze ausgehen, können wir auch nichts

als eine Grenze finden. Deshalb wird uns die Rechnung eine Anzahl von Meilen ergeben, welche die wahre Länge des fraglichen Durchmessers nicht übertreffen kann. Mit andern Worten: die Rechnung wird uns entweder zur wirklichen oder zu einer größern Länge führen.

Wenn wir nun durch die gewöhnlichen Feldmesserverfahren (1. Buch, 7. Kap. S. 20) untersuchen, wie weit eine gerade Linie von der gegebenen Anzahl von Meilen (obere Grenze) entfernt werden muß, damit sie uns unter dem Winkel erscheine, den directe Mikrometerbeobachtungen für die große Axe der Sternbahn ergaben; so wird das Resultat, ohne weitere Wahl, entweder die Wahrheit enthalten oder zu groß ausfallen. Es wird nämlich die Wahrheit enthalten, wenn die zu Grunde gelegte Anzahl von Meilen zufällig dem Durchmesser der Bahn genau gleich war; und in jedem andern Falle wird es zu groß ausfallen, weil dann die Zahl selbst, mit welcher man rechnete, zu groß war. Damit aber eine Linie unter einem gegebenen Winkel erscheine, muß sie offenbar desto weiter entfernt werden, je länger sie ist. Auf diese Weise ist es uns also gelungen eine Entfernung festzusetzen, über welche man den Stern nicht hinaussetzen darf, ohne mit den Thatsachen in Widerspruch zu gerathen.

Werden wir dagegen bei Untersuchung der Positionswinkel in den Stand gesetzt zu behaupten, daß die Dauer des halben aufsteigenden Umlaufs des Sternbegleiters den halben niedersteigenden Umlauf wenigstens um eine bestimmte Anzahl von Tagen übertreffe, so würde uns die auf diesen Fall angewandte Rechnung statt zu einer oberen vielmehr zu einer unteren Grenze führen, d. h. zu einer Entfernung, innerhalb welcher sich der Stern sicherlich nicht befände.

Hiernach wird Jedermann begreifen, welche glänzende Entdeckungen des Astronomen harren, der durch eine Abänderung in den gegenwärtigen Beobachtungsmitteln der Doppelsterne, mit bisher unerreichter Genauigkeit die Dauer des halben aufsteigenden und des halben niedersteigenden Umlaufs der Fixsternbegleiter ermitteln wird. Bestimmung der Entfernung der Fixsterne und Bestimmung der Masse dieser Gestirne werden der Lohn einer solchen Verbesserung sein.

Sechzehntes Kapitel.

Die Doppelsterne sind ein Mittel geworden zur Bestimmung der Güte großer Fernröhre und Spiegelteleskope.

Trennung der Doppelsterne ist für die Astronomen, sobald sie über die Güte von Spiegelteleskopen und großen Fernröhren urtheilen sollen, ein genauerer und in gewisser Beziehung feinerer Prüfstein geworden, als ehemals die Beobachtung der Planetenscheiben. Das Fernrohr gibt scharfe Bilder; man erkennt damit deutlich die Streifen des Jupiter und Saturn; die Marsflecken zeigt es ohne Schwierigkeit, u. s. w.: dies Alles sind unbestimmte Ausdrücke, die eine sehr verschiedene Bedeutung haben, je nachdem der Astronom, aus dessen Munde sie kommen, mehr oder weniger an den Gebrauch mächtiger und gut construirter Instrumente gewöhnt ist. Jedenfalls haftet an diesen Ausdrücken, überall wo sie gebraucht werden, der Gedanke einer Vergleichung. Wenn ich dagegen sage: Mit zweihundertmaliger Vergrößerung z. B. trennt mein Fernrohr vollständig die beiden gegenwärtig so nahestehenden Sterne, die σ in der Krone bilden, so gebe ich allen denen, die denselben Versuch anstellen wollen, ein ganz zuverlässiges Mittel an die Hand zu entscheiden, ob ihr Fernrohr geringer sei als das meinige. Die Vorzüge dieser Prüfungsweise werden ganz einleuchtend sein, wenn man mir gestattet, hier noch einmal auf das Hauptprincip bei jedem Fernrohre zurückzukommen (3. Buch, 8. Kap. S. 88).

Jedes Fernrohr besteht aus zwei Glaslinsen, einer größeren, dem Objecte zugekehrten, die man das Objectiv nennt, und einer andern, sehr kleinen, nahe am Auge befindlichen, die als Ocular bezeichnet wird. Die erste Linse erzeugt in größerer oder geringerer Entfernung von ihrer Oberfläche, an einer Stelle, welche der Brennpunkt heißt, ein Luftbild, d. h. ein wirkliches Gemälde von jedem der betrachteten Gegenstände. Dies Bild oder dies Gemälde wird mittelst der Ocularlinse vergrößert, genau so, als wäre es ein materielles Object.

Ist das Focalbild deutlich und vereinigen sich die von einem Punkte des Gegenstandes ausgehenden Strahlen im Bilde wiederum in

einen einzigen Punkt, so fällt die Beobachtung mit dem Oculare sehr befriedigend aus. Wenn sich aber entgegengesetzten Falles die von einem Punkte ausgehenden Strahlen im Brennpunkte nicht zu einem einzigen Punkte vereinigen, sondern vielmehr einen kleinen Kreis erzeugen, so müssen die Bilder zweier benachbarten Punkte des Objects nothwendiger Weise übereinander greifen; die Strahlen werden sich vermischen, und die Ocularlinse ist nicht im Stande diese Verwirrung aufzuheben. Die Wirkung des Oculars besteht nämlich ausschließlich in der Vergrößerung, aber sie vergrößert zugleich Alles, was im Bilde vorhanden ist, die Fehler sowohl als das Uebrige. Das Fernrohr oder das System beider Linsen kann also in diesem Falle die Gegenstände nicht scharf begrenzt zeigen.

Dieser Mangel an Deutlichkeit ist in verschiedenem Grade bei den Fernröhren vorhanden, je nachdem der Künstler vermocht hat der Objectivlinse eine regelmäßige Krümmung zu geben, die sich mehr oder weniger der geometrischen Form anschließt, welche die Theorie als die geeignetste bezeichnet hat, und nach welcher der Optiker zwar fortwährend strebt, die aber stets nur ein frommer Wunsch bleibt. Oft genügt schon ein einziger Blick, gleichviel welchen Gegenstand man im Fernrohre betrachtet, um zu erkennen, daß ein Objectiv schlecht gearbeitet sei; aber dies findet nicht immer statt, und selbst die geübtesten Astronomen gerathen mitunter in Verlegenheit, wenn sie Veranlassung haben sich zwischen zwei Fernröhren zu entscheiden, und mit denselben nur große Körper wie Venus, Jupiter, Saturn oder Mars betrachtet haben. In solchem Falle lassen die Doppelsterne jeden Zweifel verschwinden.

Es ist erwiesen, daß die Fixsterne keine merklichen Winkeldurchmesser besitzen; denn diejenigen, unter welchen sie stets erscheinen, rühren größtentheils von der Unvollkommenheit der Instrumente her, während Fehler und Abweichungen in unserem Auge auch Einiges dazu beitragen. Bei gleich großem Objective, unter Anwendung von gleich starker Vergrößerung und gleicher Helligkeit des beobachteten Sternes, ist ein Fernrohr um so vollkommener, je kleiner es einen Stern zeigt. Nun gibt es aber offenbar kein besseres Mittel um zu beurtheilen, ob die Sterne sehr klein sind und ob Punkte durch einfache Punkte im Focus dargestellt werden, als das Fernrohr auf einander sehr nahestehende

Sterne zu richten und sich zu überzeugen, ob die Bilder derselben ineinanderlaufen und ob eines über das andere greift, oder ob man sie deutlich getrennt erblickt. Ich lasse hier aus der Zahl der bekannten Doppelsterne einige solche folgen, welche allein durch die vorzüglichsten, mit starken Vergrößerungen versehenen Fernröhre getrennt werden können[9]):

36. in der Andromeda; im Jahre 1831 betrug der Abstand der beiden Mittelpunkte nur 0″7 [10]).

η in der Krone; Abstand der beiden Mittelpunkte 1″8 im Jahre 1830.

σ in der Krone; Abstand der beiden Mittelpunkte 1″8 im Jahre 1830.

γ in der Krone; einer der am Schwersten erkennbaren Doppelsterne, sowohl wegen der sehr großen Nähe der beiden Sterne, als wegen des großen Helligkeitsunterschiedes.

ε im Widder; sehr schwer als doppelt zu erkennen.

η im Herkules; sehr schwer als doppelt zu erkennen.

τ im Schlangenträger; gegenwärtig trennt selbst nicht mehr das dorpater Fernrohr die beiden Componenten dieses Sternes; man weiß aber aus älteren Beobachtungen, daß dieser Stern doppelt ist (12. Kap. S. 407).

Der Vollständigkeit wegen durfte ich in diesem Buche nicht vergessen des Vortheils zu erwähnen, den man gegenwärtig beim Prüfen großer Fernröhre aus der Beobachtung der Doppelsterne zieht. Jedenfalls bin ich überzeugt, daß man die Wichtigkeit dieser Anwendung einsieht, sobald ich noch bemerke, daß diese Instrumente, welche heutzutage auf den großen Sternwarten nicht entbehrt werden können, sogar abgesehen von der Aufstellung, 5000, 8000 und selbst 10000 Thaler kosten.

Siebzehntes Kapitel.

Welche Rolle die Wahrscheinlichkeitsrechnung in Betreff der vielfachen Sterne gespielt hat.

Durch die Wahrscheinlichkeitsrechnung ist die Astronomie um eine große Anzahl sehr merkwürdiger Resultate reicher geworden; diese nehmen aber bis jetzt beim Unterrichte und in den Elementarbüchern noch nicht die ihnen gebührende Stelle ein.

Fast scheint es, als habe man befürchtet denjenigen wissenschaft-

lichen Wahrheiten zu ſchaden, deren Beweis auf unmittelbarer Verbindung direeter Beobachtungen beruht, dadurch daß man ſie mit Herleitungen zuſammenſtellte, welche ohne durchaus gleiche Sicherheit zu beſitzen, es nichtsdeſtoweniger in hohem Grade verdienen in Betracht gezogen zu werden. Ich kenne aber keinen einzigen Gegenſtand, der mehr als die Doppelſterne darthun könnte, wie ſehr die Beobachter im Unrechte wären, wenn ſie die Lehren der Wahrſcheinlichkeitsrechnung verſchmähen wollten. Schon im Jahre 1767 hat ein ausgezeichneter Gelehrter, John Michell (derſelbe der zuerſt den ſpäter zu beſchreibenden Apparat erdachte, mit welchem Cavendiſh die mittlere Dichtigkeit der Erde beſtimmt hat), aufmerkſam geworden durch die ungleiche Vertheilung der Sterne am Himmel, unterſucht ob man dieſe Vertheilung für ein Werk des Zufalls halten könne. Als Beiſpiel wählte er die Plejadengruppe und ſtellte folgende Schlüſſe an.

In dieſer Gruppe befinden ſich ſechs Hauptſterne von ſolcher Helligkeit, daß es am ganzen Himmel höchſtens 1500 gibt, die man mit ihnen vergleichen könnte.

Das aufzulöſende Problem lautet alſo nun ſo: wenn 1500 Sterne auf's Gerathewohl über den Himmel verſtreut werden, welches iſt die Wahrſcheinlichkeit, daß ſich 6 unter ihnen in dem engen Raume befinden werden, den die Plejadengruppe einnimmt. Michell fand für dieſe Wahrſcheinlichkeit $^1/_{500000}$, d. h. daß man 500000 gegen 1 dafür wetten könne, daß die 6 Sterne nicht ſo eng beieinander liegen würden. Weil dies dennoch der Fall iſt, obgleich dieſer Fall unter 500000 nur einmal eintreten kann, ſo müſſen wir annehmen, daß der Rechnung irgend ein Irrthum zu Grunde liegt. Bei genauerer Betrachtung zeigt ſich darin nur eine einzige Vorausſetzung: die nämlich, daß die Sterne am Himmel zufällig vertheilt ſeien. Eine Vorausſetzung aber, deren wahrſcheinliche Folgen ſo wenig mit den Thatſachen übereinſtimmen, wird dadurch ſelbſt unwahrſcheinlich, und wir müſſen uns demnach für die entgegengeſetzte Annahme entſcheiden. Es iſt alſo nicht eine Wirkung des Zufalls, daß ſich die 6 Plejadenſterne ſo ungemein nahe beieinander befinden; es hat alſo eine phyſiſche Urſache ihre Vereinigung innerhalb eines kleinen Raumes hervorgebracht; es ſtehen alſo dieſe Sterne in gegenſeitiger Beziehung! Iſt dies aber nicht gerade

die wichtigſte Folgerung, die man in weit ſpäterer Zeit aus den mühſamen Arbeiten der Aſtronomen über die Doppelſterne hergeleitet hat? In dieſem Falle war die Lehre von der Wahrſcheinlichkeit den directen Beobachtungen vorangeeilt [11]).

Achtzehntes Kapitel.

Von den eigentlichen Entdeckern der Fixſternbegleiter.

In Lambert's kosmologiſchen Briefen, dieſer durch tiefe und kühne Gedanken überaus merkwürdigen Schrift, kommen ſchon im Jahre 1761 folgende prophetiſche Worte vor [12]): „Auf dieſe Art (durch Beobachtung ſehr nahe ſtehender Sterne) würde es ſich ausmachen laſſen, ob es in der That Fixſterne gibt, die ſich in einem gemeinſamen Wirkungskreiſe befinden, und in kurzer Zeit um den Mittelpunkt ihrer Schwere gehen?"

Michell fand in einer ſeiner Abhandlungen (in den Philos. Trans.) „daß es ſehr wahrſcheinlich, ja faſt ganz gewiß iſt, daß die doppelten und vielfachen Sterne, deren Componenten äußerſt nahe beieinander erſcheinen, Syſteme bilden, in denen die Sterne einander in der That nahe und unter der Einwirkung eines allgemeinen Geſetzes ſtehen." (Philos. Trans. for 1767, S. 249.)

Endlich äußerte derſelbe Gelehrte im Jahre 1784: „Ob es gleich nicht unwahrſcheinlich iſt, daß wir in wenigen Jahren wiſſen werden, daß ſich unter den von Herſchel beobachteten doppelten und mehrfachen Sternen einige befinden, die Syſteme von Körpern bilden, welche ſich um einander bewegen u. ſ. w." (Philos. Trans. Bd. 74, S. 56).

Ohne Zweifel darf man in dieſen Stellen Lambert's und Michell's die erſten Keime zu der ſchönen Entdeckung ſehen, welche Herſchel im Jahre 1803 der gelehrten Welt ankündigte. Daſſelbe Urtheil kann ich aber nicht über zwei Abhandlungen fällen, welche Chriſtian Mayer in den Jahren 1778 und 1779 veröffentlichte, obgleich bei der einen der deutſche, bei der andern der lateiniſche Titel angeben, daß darin von Fixſternſatelliten die Rede iſt [13]). Denn wohin ſetzte Mayer die Sa-

telliten des Arctur? Nicht einige Secunden weit vom Hauptsterne, sondern in 2° 30′ bis 2° 40′, ja bis 2° 55′ Winkelabstand. Dies genügte, um Mißtrauen zu den angeblichen Satelliten des mannheimer Astronomen zu erzeugen. Gewiß hatte dieser Irrthum den harten Tadel und die bittern Ausfälle verdient, welche damals die Zeitschriften enthielten, gleichviel ob dieser Irrthum eine Folge des Leichtsinns und der Ungeschicklichkeit des Beobachters gewesen war, oder ob man ihn den Verkündigungen beizählen muß, welche manche Gelehrte häufig auf's Gerathewohl in die wissenschaftliche Welt schleudern, gewissermaßen um zukünftige Entdeckungen vorweg in Besitz zu nehmen. Aus der Zahl dieser Entgegnungen ist eine einzige übrig geblieben, die sich, vom Jahre 1780, im 4. Bande der Abhandlungen der kaiserlichen Akademie zu Petersburg befindet. Sie zeigt von großer Kenntniß ihres Verfassers Nicolaus Fuß; nur beging dieser den damals häufig vorkommenden Fehler, sich bisweilen auf die Frage nach dem Endzwecke zu stützen. Um an einem neuen Beispiele zu zeigen, wie gefährlich es sei, über den Irrthum oder die Genauigkeit einer Beobachtung durch das berufene cui bono entscheiden zu wollen, werde ich auf die durchaus zuverlässigen und vollkommen sicheren Thatsachen, die ich über die umeinander kreisenden Doppelsterne im Vorigen mitgetheilt habe, einige Stellen aus der Abhandlung des gelehrten petersburger Akademikers folgen lassen [14]).

„Wozu nützte diese Bewegung lichter Körper um ihres gleichen? Bei uns ist die Sonne allein die wirkende Ursache der Bewegung unsers und der übrigen Planeten und zugleich die Quelle, aus welcher sie sämmtlich Licht und Wärme schöpfen; dort würden es Systeme von lauter Sonnen sein, die von andern an Größe und Glanz vielleicht unterschiedenen Sonnen beherrscht würden. Ihre Nachbarschaft und ihre Bewegung würde ohne Zweck und ihre Strahlen ohne Nutzen sein, weil sie nicht Körper mit Licht zu versorgen brauchen, denen es selbst zu Theil ward. Wenn die Trabanten lichte Körper sind, was ist der Zweck ihrer Bewegung?"

Dies hielt man im Jahre 1780 für sehr gründliche Einwürfe; aber Dinge, die vor achtzig Jahren zu Nichts dienlich erschienen, Dinge ohne Zweck und ohne Nutzen, sind wirklich vorhanden, und

müssen zu den schönsten und sichersten Wahrheiten in der Astronomie gezählt werden.

Uebrigens legte Herschel sogleich die ganze Tiefe seiner Entdeckung dar. Er erkannte, daß die meist aus ungleichen und einander sehr nahen Sternen bestehenden Paare, die am Himmel so zahlreich vorhanden sind, sich im Allgemeinen nicht blos perspectivisch in einem so engen Raume vereinigt finden. Er gewann die Ueberzeugung, daß diese Gruppen keineswegs aus unabhängigen Sternen bestehen, die sich zufällig auf sehr benachbarten Gesichtslinien befinden; er bewies, daß diese Sterne vielmehr in Beziehung zu einander stehen und wirkliche Systeme bilden; er stellte endlich fest, daß die kleinen Sterne ebenso um die größeren kreisen, wie die Erde, Mars, Jupiter, Saturn u. s. w. um die Sonne, und daß, seltsam genug, einige von diesen Sternen ihren Umlauf um andere Sonnen in kürzerer Zeit vollbringen, als z. B. Uranus braucht, um seine Bahn zu durchlaufen.

Wollte man dieselben Rechnungen, fährt Michell in seinen Bemerkungen fort, auf diejenigen Sterne anwenden, welche nur in Fernröhren doppelt und dreifach erscheinen, so würde sich für deren gegenseitige Verbindung eine noch viel größere Wahrscheinlichkeit ergeben. Und was würde der englische Physiker gesagt haben, wenn man zu seiner Zeit gewisse Doppelsternpaare gekannt hätte wie η im Herkules und γ in der Krone, deren Componenten kaum in den besten Fernröhren und mit den stärksten Vergrößerungen getrennt werden können! Bei etwas größerem Vertrauen in die Ergebnisse der Wahrscheinlichkeitsrechnung hätten die Astronomen schon im Jahre 1767 die Beobachtung der Doppelsterne begonnen. Von diesem Vertrauen war der geistvolle Urheber der Rechnungen, von denen ich eine Vorstellung gegeben habe, so sehr erfüllt, daß er in seiner Abhandlung schon von Sternen, welche um andere kreisen, als einem Mittel sprach, verschiedene schwierige Fragen aus der physischen Astronomie zu beantworten.

Obgleich heutzutage die Kenntniß der Anfangsgründe der Wahrscheinlichkeitsrechnung sehr verbreitet zu werden beginnt, ja diese Rechnung, möchte ich sagen, schon vielfach Anwendung findet, und obgleich andererseits die innige Beziehung und die gegenseitige Abhängigkeit der beiden Componenten in vielen Doppelsternen aus directen und unzwei-

selhaften Beobachtungen hervorgehen; so kann ich dennoch nicht unterlassen mit Struve die Bemerkung zu machen, daß diese Beziehung, diese Abhängigkeit, die Frucht so zahlreicher und schwieriger Untersuchungen, für ein geübtes Auge schon aus dem bloßen Anblick des Verzeichnisses der Doppelsterne verschiedener Klassen hervorgehen würde.

Man muß sich daran erinnern, daß die vier Herschel'schen Klassen (2. Kap. S. 390) durchaus in keiner Beziehung zu der Helligkeit der Sterne stehen, sondern nur auf den verschiedenen Winkelabständen beruhen. Die erste Klasse enthält alle diejenigen Doppelsternpaare, in denen die Componenten weniger als 4 Secunden von einander entfernt sind. Die zweite begreift die Abstände über 4 und unter 8 Secunden; die dritte beginnt bei 8 Secunden und endet bei 16; die vierte endlich reicht bis zu 32 Secunden.

Jedermann sieht aber leicht ein, daß wenn man die Wahrscheinlichkeit sucht, daß sich regellos am Himmel verstreute Sterne in Gruppen von zweien zeigen; daß diese Wahrscheinlichkeit, sage ich, um so geringer ausfallen wird, je kleiner die räumliche Ausdehnung der Paare sein soll. Es verhält sich nämlich damit genau ebenso, als wenn man die Wahrscheinlichkeit berechnet, daß beim Auswerfen einer Menge Getreidekörner auf ein Schachbret, diese Körner paarweise in den Feldern des Bretes liegen werden: die Wahrscheinlichkeit wird hier offenbar mit der Größe der Felder gleichzeitig abnehmen. In dem uns vorliegenden Problem sind nun die Getreidekörner die Sterne und das Schachbret ist der Himmel; für die erste Herschel'sche Klasse sind die Felder Räume von höchstens 4 Secunden im Durchmesser, während die Dimensionen der Felder für die vierte Klasse bis auf 32 Secunden wachsen. Bei der Annahme vollkommener Unabhängigkeit zwischen allen über den Himmel verbreiteten Sternen, würde die erste Klasse der Doppelsterne viel weniger zahlreich sein als die zweite, die dritte und besonders die vierte. Das Gegentheil findet aber statt (2. Kap. S. 390). So werden wir wiederum, durch einfache Betrachtung der Wahrscheinlichkeiten, zu der Einsicht geführt, daß die einander nahestehenden Sterne sich nicht nur scheinbar in dieser Stellung befinden, d. h. durch eine optische oder perspectivische Wirkung, sondern daß sie im Gegentheile Systeme untereinander bilden.

Anmerkungen der deutschen Ausgabe.

Zum zehnten Buch.

1. S. 390. Herschel's Doppelsternverzeichnisse in den Philosophical Transactions für die Jahre 1782, 1785 und 1804 und auszugsweise in Bode's Jahrbüchern für 1786, 1790 und 1808 sind beträchtlich reicher, indem die beiden ersten allein über 700 Nummern aufführen. Die kleinere Zahl im Texte rührt davon her, daß alle Doppelsterne mit größeren Entfernungen als 32″ ausgeschlossen sind.

2. S. 391. Vergl. Kosmos III. S. 295, 296 und 308 Anm. 11.

3. S. 398. Alle vorhandenen Nachrichten über die in der Farbe des Sirius unzweifelhaft eingetretene Aenderung sind von v. Humboldt gesammelt im dritten Bande des Kosmos S. 169, 170, 203 und 641. Vergl. auch Sir John Herschel im 16. Bde. der Astron. Nachrichten. Der Farbenwechsel soll in die Zeit zwischen Ptolemäus und den arabischen Astronomen fallen.

4. S. 399. Dunlop's Verzeichniß südlicher Nebel, gegründet auf Beobachtungen mit einem 9füßigen Spiegelteleskope findet sich in den Philos. Trans. vom Jahre 1828.; von den mehr als 600 Objecten jenes Verzeichnisses hat indessen Sir John Herschel mit einem sieben Mal lichtstärkeren Instrumente etwa 400 nicht aufzufinden vermocht, und die Mehrzahl der Dunlop'schen Nebel hat deshalb sicherlich niemals existirt. Results of Astron. Observ. at the Cape of Good Hope, S. 4.

5. S. 406. Mädler setzt neuerdings die halbe große Axe 0″9 mit der Excentricität 0,29.

6. S. 406. Diese für ξ im Großen Bären angesetzten Elemente sind von Savary berechnet; J. Herschel und Mädler haben seitdem genauere Bestimmungen gemacht, die zur Vergleichung mit den früheren hier folgen:

	J. Herschel.	Mädler.	
Umlaufszeit	60,7	61,3	Jahre
Halbe gr. Axe	3″28	2″29	
Excentricität	0,38	0,40	

7. S. 406. Excentricität 0,44 nach Mädler; frühere Angabe 0,23.

8. S. 406. Für γ in der Jungfrau haben Mädler und John Herschel durchaus andere Elemente gefunden; jener setzt die Umlaufszeit auf 169, dieser auf 182 Jahre. Ueber den Grund der ungewöhnlichen Abweichung von der im Texte erwähnten Periode siehe Mädler, Astronomie 1852, S. 543. Vergl. über diesen Doppelstern auch die ausführliche Abhandlung in Herschel's Capreise S. 291—299.

9. S. 420. Außer einer vor längerer Zeit von Herschel jun. gegebenen Liste derartiger Prüfungsobjecte (test-objects) findet man sehr geeignete Zusammenstellungen von Doppelsternpaaren zur Prüfung von Fernröhren jeder Art in Littrow's Wunder des Himmels, 4. Aufl. S. 488, und in den Outlines § 836.

10. S. 420. Die Entfernung ist gegenwärtig merklich größer und noch im Zunehmen begriffen.

11. S. 422. John Michell in seiner Abhandlung An inquiry into the probable parallax and magnitude of the fixed stars cet. im 57. Bde. der Philos. Trans. 1767. Die von Michell angenommene Anzahl (1500) der am ganzen Himmel vorhandenen Sterne von der Größe der sechs Hauptsterne in den Plejaden ist, nach einer Bemerkung John Herschel's (Outlines § 833 Anm. und Kosmos III. S. 397) beträchtlich zu klein, und infolge dessen die berechnete Wahrscheinlichkeit des zufälligen Zusammentreffens der Sterne der Plejadengruppe ($^1/_{500000}$) stark unterschätzt. „Auch nach dieser Berichtigung bleibt noch immer genug, um sein Argument zu unterstützen." In neuerer Zeit hat man indessen einige Bedenken gegen die unbedingte Zulässigkeit der angegebenen Betrachtungsweise erhoben. Es würde nämlich, wenn man auf diesen Grundlagen folgerichtig weiterschließt, der Fall, wo alle vorhandenen Sterne dieser Größe streng gleichförmig am Himmel vertheilt wären, ganz sicher dem bloßen Zufalle zuzuschreiben sein — was Niemand zugeben möchte.

12. S. 422. Cosmologische Briefe über die Einrichtung des Weltbaues, ausgefertigt von J. H. Lambert, 1761, S. 167.

13. S. 422. Gründliche Vertheidigung neuer Beobachtungen von Fixsterntrabanten, Mannheim, 1778, und ausführlich in De novis in coelo sidereo phaenomenis in miris stellarum fixarum comitibus, 1779. Erstere Schrift war gegen den Widerspruch gerichtet, den Maximilian Hell, der berühmte wiener Astronom, gegen Mayer's Entdeckung von einhundert Fixsterntrabanten erhoben hatte. Christian Mayer, der von 1719 bis 1783 lebte, hatte übrigens vor W. Herschel die meisten Doppelsterne entdeckt, und seine Beobachtungen derselben sind noch heute von Wichtigkeit. Die genauesten Nachrichten über ihn gibt Klüber in der Schrift Die Sternwarte zu Mannheim, 1811, S. 34—43.

14. S. 423. Die französische Abhandlung (Réflexions sur les satellites des étoiles, Petersb. 1781) von Nic. Fuß steht auch deutsch in Bode's astronomischem Jahrbuche für 1785; die im Texte angeführten Stellen daselbst S. 139, 140.

Elftes Buch.

Nebelflecke.

Erſtes Kapitel.

Definition.

Nebelflecke nennt man lichte, verwaſchene Stellen, welche die Aſtronomen in allen Gegenden des Himmels aufgefunden haben. Dieſe Flecken oder Schimmer ſcheinen von zwei durchaus verſchiedenen Urſachen herzurühren, bei welchen die Aufmerkſamkeit des Leſers nach einander verweilen muß; wir werden nämlich ſowohl den Fall ins Auge zu faſſen haben, wo ſich dieſe hellen Flecken mittelſt kräftiger Inſtrumente in einzelne Sterne auflöſen laſſen, als auch denjenigen Fall, wo ſich dieſe lichten Stellen als aus einer diffuſen, im Raume verbreiteten Materie beſtehend erweiſen.

Die Sterne ſind ſehr ungleich am Himmel vertheilt. Nach gewiſſen Richtungen hin ſtehen ſie dichtgedrängt, während man an anderen Stellen mit bloßem Auge oder im Fernrohre weite Räume durchläuft ohne einen einzigen Stern anzutreffen. Dieſer allgemeine Mangel jeder Gleichförmigkeit im Reichthum des geſtirnten Himmels iſt erſt zu unſerer Zeit gebührend unterſucht worden, und hat in Betreff der inneren Einrichtung des Weltſyſtems zu wunderbaren Ergebniſſen geführt, welche im gegenwärtigen Buche entwickelt werden ſollen.

Zweites Kapitel.

Sternhaufen.

Zunächst wollen wir uns mit einigen localen, in engen Grenzen eingeschlossenen Sternhaufen beschäftigen, wie im Sternbilde des Stiers die Gruppen der Plejaden und der Hyaden sind, oder auch der Sternhaufe, den man im Krebse bemerkt hat, und welcher Präsepe oder die Krippe genannt wird, oder derjenige endlich, welcher η im Schiffe umgibt, u. s. w. Alle diese Sternhaufen haben bestimmte, unveränderliche Gestalten, und bestehen aus sehr nahe bei einander belegenen Sternen.

Allen kurzsichtigen Beobachtern erscheinen die Plejaden am Halse des Stieres wie eine verwaschene Lichtmasse; sobald man aber durch ein Fernrohr (selbst wenn es nicht vergrößert), oder durch eine einfache Brille Deutlichkeit des Sehens hervorbringt, so erblickt man die Hauptsterne dieser Gruppe einzeln, d. h. getrennt von einander (Fig. 111 S. 430). Die Plejaden erscheinen also nur einigen Beobachtern als ein Nebelfleck, und zwar so lange diese sich nicht einer Brille bedienen.

Als ich davon sprach, daß die Augen verschieden befähigt seien schwache Sterne zu erkennen (5. Buch, 3. Kap. S. 166), habe ich die Plejadengruppe erwähnt, in welcher Einige mit bloßen Augen 6, Andere 7, 8 und sogar bis 14 Sterne erkennen[1]). Dieser seit dem frühesten Alterthume bekannte Sternhaufe war das Gestirn der Seefahrer, wie schon die Ableitung seines Namens von πλειν (schiffen) beweist, weil dies Bild vom Mai bis zum November sichtbar blieb, d. h., einer Bemerkung meines Freundes Alexander von Humboldt zufolge, während der ganzen Periode der Schifffahrt auf dem Mittelmeere.

Alcyone oder η am Halse des Stieres, der schönste unter den Plejadensternen, ist gegenwärtig dritter Größe; hierauf folgen Electra und Atlas von der vierten, Merope, Maja und Taygeta von der fünften, Plejone und Celeno von der sechsten bis siebenten Größe, endlich Asterope, welche zur siebenten bis achten Größenklasse gehört; überdies gibt es in den Plejaden noch eine große Zahl äußerst kleiner

Sterne. Die bildliche Darſtellung, die ich von dieſer ſchönen Sterngruppe beifüge, iſt entworfen nach der Karte in den Memoiren der Akademie der Wiſſenſchaften vom Jahre 1779 [2]).

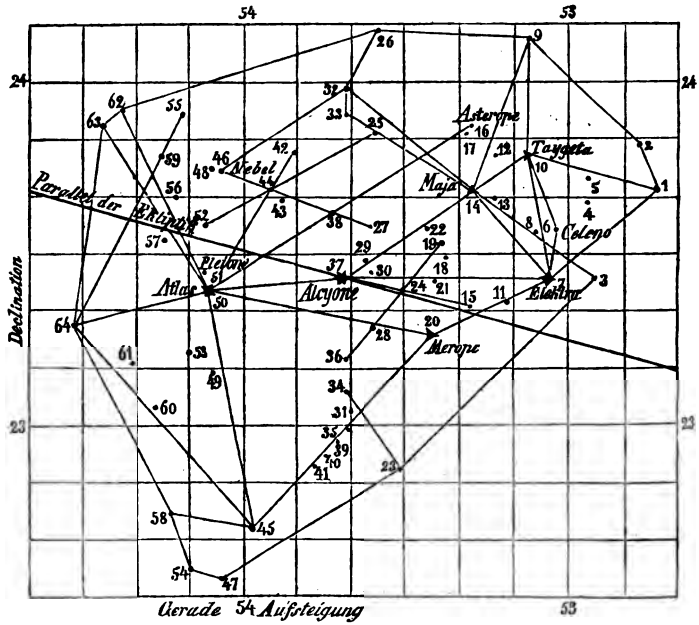


Fig. 111. — Karte der 64 hauptſächlichen Sterne in den Plejaden nach Jeaurat. (Memoiren der pariſer Akademie vom Jahre 1779).

Die Hyadengruppe, welche hier nach den Karten von Dien gezeichnet iſt (Fig. 112 S. 431), befindet ſich an der Stirn des Stieres; die kleineren Sterne, aus denen ſie beſteht, und die ich oben bereits erwähnt habe (S. 291), werden durch Aldebaran's Glanz überſtrahlt.

In der Gruppe des Krebſes, zwiſchen den Sternen γ und δ, welche man auch die beiden Eſel nennt, ſtehen die verſchiedenen Sterne gedrängter als in den vorhin genannten Sterngruppen, und kein menſchliches Auge vermag ſie getrennt zu ſehen. Das Licht eines Sternes verbreitet ſich nämlich, und zerſtreut ſich auf der Netzhaut,

und greift, bei der Unvollkommenheit unserer Organe, über in das Licht eines benachbarten Sternes, so daß das Ganze wie eine undeutliche Masse erscheint; wendet man dagegen ein Fernrohr an, selbst

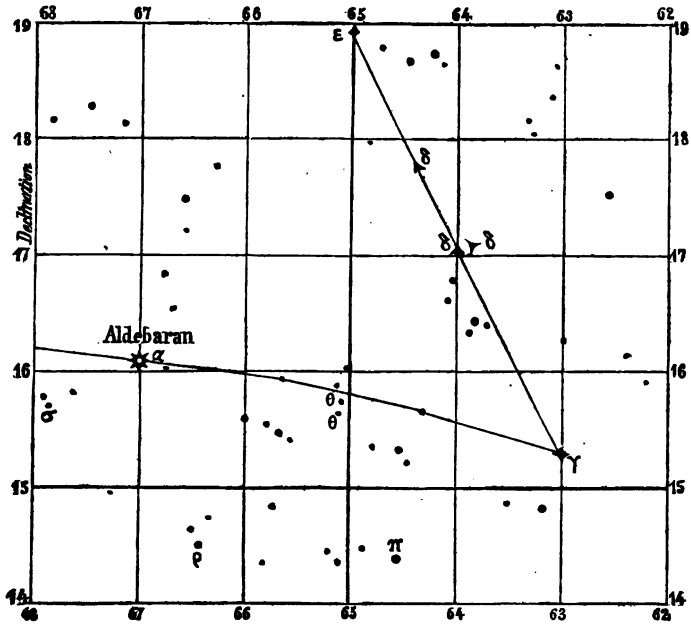


Fig. 112. — Hyadengruppe (Sterngruppe an der Stirn des Stieres).

wenn es nur schwach ist, so wird das Bild jedes Sternes sehr zusammengedrängt, und trennt sich auf diese Weise von dem Bilde des nebenstehenden Sternes; infolge dessen verliert die Lichtmasse das verwaschene Ansehen, welches allein uns hätte berechtigen können, sie unter die wirklichen Nebelflecke zu rechnen. Alsdann zeigt sich diese Gruppe wie in der auf S. 432 stehenden Figur 113.

Um diese Auflösung in zahlreiche einzelne Sterne zu erlangen, hatten eine einfache Brille und ein schwaches Fernrohr bei den Plejaden, den Hyaden und der Krippe im Krebse ausgereicht. Es gibt aber andere Lichtflecken, die sich nur mittelst mächtiger Fernröhre und starker Vergrößerungen in Sterngruppen auflösen lassen. Objecte

dieſer Art, welche 50maligen, 100, 150 oder 200maligen Vergrößerungen widerſtanden, löſen ſich häufig in Sterne auf, ſobald man bis zu 500 oder bis zu 1000maligen Vergrößerungen aufſteigt. Dadurch

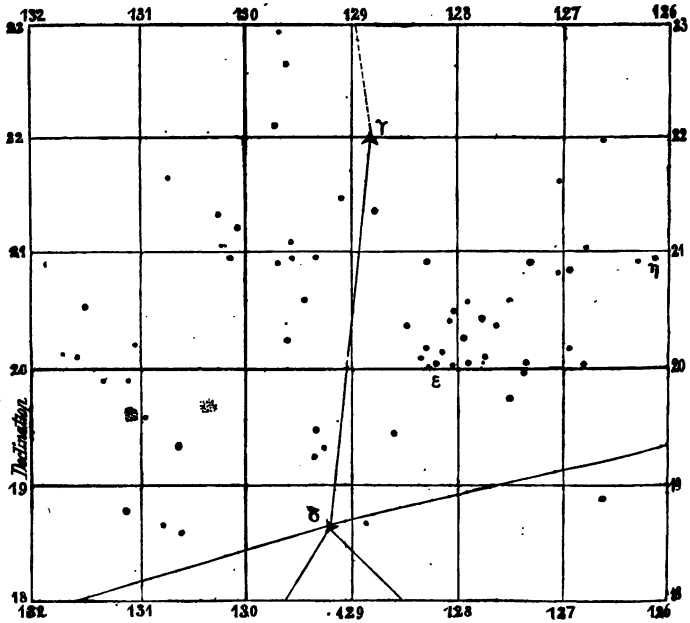


Fig. 113. — Präſepe oder die Sterngruppe im Krebſe.

gelang es Herſchel die Mehrzahl der von Meſſier mit ſeinen ſchwächeren Fernröhren für unauflöslich gehaltenen Nebelflecke, die dieſer Beobachter deswegen ſternenloſe nannte, in Sternhaufen aufzulöſen.

Drittes Kapitel.

Ueber die Natur der Nebelflecke.

Die beträchtliche Anzahl von Nebelflecken, die in gewöhnlichen Inſtrumenten als leuchtende Wölkchen erſchienen waren, und die es Herſchel mit ſeinen 10, 20 und 40füßigen Fernröhren gelang

in Sterne aufzulöſen, veranlaßte dieſen großen Aſtronomen zu einer ſehr gewagten Verallgemeinerung. Mehrere Jahre hindurch behauptete er nämlich, alle Nebelflecken ſeien Nichts als Sternhaufen; es gäbe zwiſchen den dem Anſcheine nach unähnlichſten Nebelflecken keinen anderen Unterſchied, als eine größere oder kleinere Entfernung, eine ſtärkere oder geringere Verdichtung der einzelnen Sterne in dieſe Haufen. Herſchel trat dadurch in offenbaren Widerſpruch mit Lacaille, der ſich nach ſeiner Rückkehr vom Cap der guten Hoffnung in den Memoiren der Akademie der Wiſſenſchaften für 1755 folgendermaßen geäußert hatte: „Es iſt nicht erwieſen, daß die Helligkeit dieſer Stellen (die Magellaniſchen Wolken und die lichten Flecken in der Milchſtraße), wie man gewöhnlich annimmt, von Haufen kleiner Sterne herrühre, welche hier dichter ſtänden als in anderen Theilen des Himmels; denn obgleich ich die beſtbegrenzten unter dieſen Flecken, ſowohl in der Milchſtraße als in den magellaniſchen Wolken, ſehr ſorgfältig betrachtet habe, ſo konnte ich dennoch mit dem 14füßigen Fernrohre nur eine Helligkeit auf dem Himmelsgrunde erkennen, ohne an ſolchen Stellen mehr Sterne als anderswo zu erblicken“ [3]). Sehr umſtändliche und feine Beobachtungen, die Herſchel mit aller Unbefangenheit anſtellte, änderten ſchließlich ſeine urſprünglichen Anſichten. In einer ſpäteren Abhandlung findet man ſchon folgende Stelle [4]): „Es gibt Nebelflecke (lichte Stellen am Himmel), die nicht ſternichter Natur ſind (of a starry nature)“. Einmal von dem Vorhandenſein zahlreicher Anſammlungen diffuſer, leuchtender Materie in den Himmelsräumen überzeugt, ſah Herſchel vor ſich ein faſt ganz neues Feld der Unterſuchungen eröffnet, das er in allen Theilen mit unermüdlichem Eifer bearbeitete. Die Anzahl der Nebelflecke ging nun über die engen Grenzen hinaus, in welche man dieſe Phänomene gewöhnlich eingeſchloſſen hatte; es war nicht länger der einzige Zweck dieſer Aufzählung dem beobachtenden Aſtronomen Ungewißheit und Irrthum zu erſparen, und zu verhindern, daß ein umherirrender Komet, ſelbſt bei ſeinem erſten Erſcheinen, jemals mit einem feſtſtehenden Nebel verwechſelt werden könne, trotz aller ſcheinbaren Aehnlichkeit in ihrer phyſiſchen Beſchaffenheit, trotz der großen Aehnlichkeit auch in ihrer äußeren Geſtalt. Von jener Zeit an ſah man wohl ein, daß die Fixſterne, die Planeten,

Monde und Kometen nicht die einzigen Gegenstände der astronomischen Untersuchungen bleiben könnten. Die dünn verbreitete Himmelsmaterie, derjenige Stoff, welcher, wenn diese Bezeichnung erlaubt ist, dem Elementarzustande näher steht, schien die Aufmerksamkeit in nicht geringerem Grade zu verdienen, und die philosophischeren Köpfe erkannten darin eine fruchtbare Quelle von Entdeckungen.

Viertes Kapitel.

Historische Uebersicht über die Entdeckung der Nebelflecke.

Der erste Nebelfleck, dessen in den Annalen der Astronomie Erwähnung geschieht, ist der Nebelfleck im Gürtel der Andromeda. Simon Marius beobachtete ihn im Jahre 1612. Er verglich das Licht dieses bei ν in der Andromeda befindlichen Nebels mit dem einer Kerze, durch eine Hornscheibe gesehen (Fig. 114, S. 440*), und dieser Vergleich ist keineswegs ungenau[5]). Die Länge des Nebels beträgt $2^1/_2{}^0$, seine Breite mehr als 1^0.

Seit Marius war fast ein halbes Jahrhundert verflossen, als Huygens, im Jahre 1656, den großen Nebelfleck im Sternbilde des Orion entdeckte[6]), der nahe beim Schwerdtgriff liegt, und den mit ϑ bezeichneten Stern umgibt (Fig. 115).

„Im Schwerdt des Orion, sagt Huygens in seinem Systema Saturnium, das im Jahre 1659 erschien, haben die Astronomen drei einander sehr nahe liegende Sterne aufgezählt. Als ich nun zufällig im Jahre 1656 den mittleren dieser Sterne durch mein Fernrohr beobachtete, entdeckte ich statt eines einzelnen Sternes zwölf, was (bei Fernröhren) allerdings nichts Seltenes ist. Von diesen waren wieder drei, die sich, wie die ersteren, fast berührten, und vier leuchteten wie durch einen Nebel, so daß der Raum um sie her viel heller erschien als der übrige ganz schwarze Himmel. Es war daher die Erscheinung, als

*) Die im Texte als abgebildet erwähnten Nebelflecke (Fig. 114 bis 128) befinden sich auf zwei Tafeln zwischen den Seiten 440 und 441.

ſei hier eine Oeffnung am Himmel vorhanden, durch welche der Blick in eine glanzvollere Region eindrang."

Als Halley im Jahre 1716 die damals bekannten Nebelflecke aufzählte, waren deren nur ſechs: nämlich die beiden ſoeben genannten und vier andere, über welche ich Näheres mittheilen will[7]).

Der erſte von dieſen vier Nebeln hat eine beträchtliche Ausdehnung, und ſcheint (Fig. 116) aus vier geſonderten Maſſen zu beſtehen, deren eine wiederum in drei Theile zerfällt. Als Entdecker dieſes Nebelfleckes nannte Halley den Abraham Ihle[8]), aber Hevel hatte ihn ſchon vor 1665 bemerkt. Derſelbe ſteht zwiſchen Kopf und Bogen des Schützen.

Hierauf folgte der Nebel nahe bei ω im Centaur, den Halley im Jahre 1677 auffand, als er an ſeinem Sternverzeichniſſe des ſüdlichen Himmels arbeitete; dieſer Nebel hat eine merkwürdige runde Geſtalt (Fig. 117).

Ferner führt Halley noch einen Nebelfleck an, beim rechten oder nördlichen Fuße des Antinous belegen, und von Kirch im Jahre 1681 aufgefunden.

Endlich entdeckte Halley 1714 den Nebel im Sternbilde des Herkules, auf der geraden Linie zwiſchen den Sternen ζ und η der Bayer'ſchen Karten (Fig. 122); in einem kraftvollen Inſtrumente erſcheint dieſer Nebel prachtvoll; am Rande iſt er in merkwürdigen Verlängerungen ausgezackt.

Lacaille hat bei ſeinem Aufenthalte am Cap der guten Hoffnung die Oerter von 14 Nebelflecken beſtimmt, innerhalb derer ſeine ſchwachen Inſtrumente nichts Beſtimmtes erkennen ließen, und von 14 andern Nebelflecken, die ſich im Gegentheil ſchon in dieſen Fernröhren in Sterne auflöſten. Wenige Jahre ſpäter war die Anzahl dieſer Gegenſtände beträchtlich vermehrt. Meſſier's Katalog, welcher der Akademie im Jahre 1771 vorgelegt wurde, und mit einigen Zuſätzen in der Connaissance des temps für die Jahre 1783 und 1784 erſchien, enthält 68 neue Nebelflecke; im Ganzen bietet er 103 Objecte, wegen der 28 Nebelflecke von Lacaille und einiger früher entdeckten[9]). Den ſchnellſten Aufſchwung nahm aber dieſer Zweig der Wiſſenſchaft, als Herſchel mächtige Inſtrumente, ſeltenen Scharfblick und ſeine unbeugſame Be-

harrlichkeit ihm zuwendete. Denn im Jahre 1786 veröffentlichte dieſer gelehrte Aſtronom im 76. Bande der Philosophical Transactions ein Verzeichniß von 1000 Nebelflecken und Sternhaufen. Drei Jahre ſpäter erſchien, zum größten Erſtaunen der beobachtenden Aſtronomen, ein zweiter ebenſo umfaſſender Katalog. Auf dieſen folgte, im Jahre 1802, ein drittes Verzeichniß von 500 neuen Nebelflecken [10]). Alſo 2500 Nebelflecke waren der Beitrag Herſchel's zu einem Zweige der Aſtronomie, deſſen erſte Anfänge vor ihm kaum bekannt geworden waren. Doch der Umfang iſt das geringſte Verdienſt dieſer großen Arbeit, wie in den folgenden Kapiteln dieſes Buches nachgewieſen werden ſoll.

Fünftes Kapitel.

Auflösliche Nebelflecke; Geſtalt derſelben.

Die auflöslichen Nebelflecke, oder diejenigen vielmehr, welche man uneigentlich Nebelflecke genannt hat, d. h. die ſich mit ſtarken Inſtrumenten in Sterne auflöſen laſſen, bieten die mannigfaltigſten Formen dar. Man kennt deren, die, weil ſie ſehr langgeſtreckt und zugleich ſehr dünn ſind, faſt für einfache gerade oder gekrümmte Lichtlinien gehalten werden könnten; andere, die ſich fächerförmig öffnen, ſind dem Lichtbüſchel nicht unähnlich, der einer ſtark elektriſirten Spitze entſtrömt. Während bei einigen die Umriſſe durchaus unregelmäßig ſind, möchte man andere für Kometenköpfe mit Kernen halten. Doch wenden wir uns jetzt zu umſtändlicheren Definitionen.

Sechſtes Kapitel.

Kreisförmige oder kugelförmige Nebelflecke.

Die Kreisform iſt diejenige, in welcher ſich die auflöslichen Nebelflecke am meiſten darzubieten ſcheinen; dieſe kreisförmigen Nebelflecke hat Herſchel mit ganz beſonderer Sorgfalt unterſucht [11]). Von den

wichtigen Resultaten, die er aus seinen Beobachtungen gezogen hat, will ich eine genaue Vorstellung zu geben versuchen.

Die Kreisform ist nur scheinbar; die wirkliche Gestalt ist vielmehr kugelförmig, sphärisch: dies wird durch eine sogleich mitzutheilende Beobachtung erwiesen.

Die Sterne, aus denen diese Gattung von Nebelflecken besteht, scheinen im Allgemeinen nahe von derselben Größe zu sein*).

Mit vollkommener Gleichförmigkeit sind sie um den Mittelpunkt der Figur vertheilt, denn in gleichen Abständen von diesem Mittelpunkte ist der Glanz nach allen Richtungen hin derselbe.

Man denke sich nun in sehr weiter Entfernung einen kugelförmigen Nebelfleck, in welchem die Sterne im Mittelpunkt, am Rande und überall gleich dicht vertheilt seien; das Auge wird alsdann anders über diese Vertheilung urtheilen. Zieht man eine Gesichtslinie, welche nahe am Rande in die Kugel eindringt, so wird der Raum zwischen den Eintritts- und Austrittspunkten sehr klein sein; jemehr sich diese Gesichtslinie aber dem Mittelpunkte nähert, desto länger wird der innerhalb der Kugel liegende Theil derselben, und um so größer die Anzahl der Sterne, auf welche sie trifft. Das Maximum wird man im Mittelpunkte selbst beobachten.

Die stufenweise Zunahme der Helligkeit, die jeder anscheinend kreisrunde Nebelfleck vom Rande zum Mittelpunkt hin zeigt, kann gleichfalls als deutlicher Beweis der Kugelform, der sphärischen Gestalt des Sternhaufens angesehen werden.

Diese Betrachtungen lassen sich ohne Schwierigkeit weiter verfolgen.

Ich habe soeben daran erinnert, daß die innerhalb einer Kugel

*) Ich kann der Versuchung nicht widerstehen, an dieser Stelle zwei merkwürdige Beobachtungen von James Dunlop anzuführen. Während seines Aufenthalts zu Paramatta in Neuholland fand dieser Astronom in $11^h\ 29^m\ 20^s$ Geraderaufsteigung und $29^\circ\ 16'$ südlicher Polardistanz, einen auflöslichen Nebel von $10'$ im Durchmesser, in welchem drei rothe und ein gelber Stern glänzten, in diesen Farbennüancen mitten unter einer Menge weißer Sterne. Einmal als er sein starkes Fernrohr auf $18^h\ 49^m\ 5^s$ Geraderaufsteigung und $53^\circ\ 10'$ Polardistanz gerichtet hatte, erblickte er einen Nebelfleck von $3^1/_2'$ im Durchmesser, der ganz aus bläulichen Sternen bestand[12]).

liegenden Theile der Gesichtslinien vom Rande nach dem Mittelpunkte hin an Größe zunehmen. Ist die Kugel gleichmäßig mit Sternen erfüllt, so werden die Längen dieser Abschnitte der Gesichtslinien der Anzahl von Sternen, an welchen sie vorbeigehen, proportional sein; sie werden also im ganzen Raume des Nebelfleckes das Maaß geben für die Lichtintensität, von den Rändern bis zum Mittelpunkte hin. Nun ziehe man Linien nahezu parallel untereinander durch eine Kugel, so werden dieselben nahe bei den Rändern schnell an Länge zunehmen, sich dagegen in der Nähe des Mittelpunktes wenig verändern. Aus diesem Grunde muß also die Helligkeit des Nebelfleckes sich an den Rändern sehr schnell ändern, in der Mitte aber fast gar nicht. Die Beobachtung ergibt aber das Gegentheil, so daß die Annahme, von der wir ausgegangen sind, nothwendig eine Ungenauigkeit enthalten muß; wir hatten nämlich irrthümlich vorausgesetzt, daß die Sterne überall in der Kugel in gleicher Fülle vorhanden seien. Die schnelle Zunahme der Intensität gegen den Mittelpunkt, und der Umstand, daß in diesem Mittelpunkte selbst gewissermaßen ein heller Kern vorhanden ist, beweisen, daß sich die Sterne dort und in der Umgebung dieses Punktes in größerer Anzahl als sonst überall befinden. Ein derartiges Ergebniß ist von großer Wichtigkeit sowohl an sich selbst, als wegen seiner Allgemeinheit. Dasselbe muß als ein deutlicher Hinweis auf eine verdichtende Kraft betrachtet werden, welche von allen Seiten her auf den Mittelpunkt de kugelförmigen Gruppe gerichtet ist.

Dem Leser ist ein Beispiel eines solchen kugelförmigen Nebelfleckes vor Augen gelegt im Nebel des Centaur (Fig. 117), von dem schon vorher die Rede gewesen (4. Kap. S. 435).

Siebentes Kapitel.

Ueber die Anzahl der Sterne in gewissen kugelförmigen Nebelflecken.

Es würde durchaus unausführbar sein, einzeln und mit Genauigkeit die Gesammtsumme der in gewissen kugelförmigen Nebelflecken vorhandenen Sterne zählen zu wollen; aber Grenzwerthe dafür

laſſen ſich erreichen. Indem man den Winkelabſtand der an den Rändern belegenen Sterne abſchätzt, d. h. in der Gegend, wo ſich die Sterne nicht aufeinander projiciren, und dieſen Raum mit dem ganzen Durchmeſſer der Gruppe vergleicht, hat man die Ueberzeugung gewonnen, daß ein Nebelfleck, deſſen Durchmeſſer ungefähr 10 Minuten beträgt, und deſſen ſcheinbare Geſammtoberfläche alſo kaum ein Zehntel iſt von der unſerer Mondſcheibe, nicht weniger als 20000 Sterne in ſich ſchließt.

Es iſt ſchwer ſich die dynamiſchen Bedingungen zu denken, welche einem ſolchen Ameiſenhaufen von Sternen unbegrenzte Fortdauer ſichern. Nimmt man an, das Syſtem ſei in Ruhe, ſo werden die Sterne mit der Zeit aufeinander ſtürzen; legt man ihm eine rotirende Bewegung um eine einzige Are bei, ſo werden die Sterne unausbleiblich aneinander ſtoßen. Iſt es denn aber a priori erwieſen, daß die Syſteme kugelförmiger Sternhaufen unbegrenzte Zeit in dem Zuſtande verharren, in welchem wir ſie gegenwärtig erblicken?

Achtes Kapitel.

Durchbohrte oder ringförmige Nebelflecke und ſpiralförmige Nebel.

Zu den merkwürdigſten Gegenſtänden am Himmel rechnete William Herſchel einen Nebelfleck, welcher in dem alten Kataloge der Connaissance des temps die Nummer 57 trägt. Um gerecht zu ſein, muß ich ſogleich hinzufügend bemerken, daß Meſſier und Mechain mit ihren ſchwächeren Fernröhren weder einen Stern in dieſem Nebel, noch ſeine eigentliche Geſtalt erkannt hatten. Dieſer Nebelfleck iſt bei genauer Betrachtung ein etwas elliptiſcher Sternring. Er befindet ſich zwiſchen β und γ in der Leyer, und wurde im Jahre 1779 zu Toulouſe von Darquier entdeckt[13]). In ſeinem Mittelpunkte bemerkt man eine ſchwarze oder wenigſtens matt erleuchtete Oeffnung; ſeine beiden Aren verhalten ſich wie 83 : 100. Die dunkle Oeffnung nimmt ungefähr die Hälfte vom Durchmeſſer des Nebelflecks ein.

Es gibt noch einen andern merkwürdigen Nebelfleck, den Meſſier

im Jahre 1773 entdeckte, und welcher in seinem Verzeichnisse unter Nummer 51 aufgeführt wird. Dieser Nebelfleck steht am linken Ohre des nördlichen Jagdhundes Asterion, nahe bei η am Schwanze des Großen Bären. In Sir John Herschel's 18zölligem Spiegelteleskop zeigte er sich (Fig. 121) wie ein großer, glänzender, kugelförmiger Nebelfleck, in beträchtlicher Entfernung von einem Ringe umgeben, in welchem man ungleiche Helligkeit unterscheiden konnte[14]). Das große Spiegelteleskop des Lord Rosse, von 6 Fuß Oeffnung, hat diesen Anblick in den einer leuchtenden Spirale verwandelt (Fig. 123), deren Windungen uneben erscheinen, und deren beide Enden, d. h. am Mittelpunkte und auswärts, nach dem Ausdrucke meines Freundes von Humboldt, in dichte, körnige, kugelrunde Knoten auslaufen[15]).

Der im Messier'schen Kataloge mit Nro. 99 bezeichnete, am nördlichen Flügel der Jungfrau, in der Nähe des 6. Sternes im Haare der Berenice belegene Nebel zeigt ebenfalls in Lord Rosse's Teleskop das Bild einer Spirale (Fig. 124); diese Spirale hat aber einen einzigen Central-Nucleus.

Unter den im Innern leeren Nebelflecken muß auch der große Nebel erwähnt werden, in dessen Mitte η Argûs liegt, und den wir nach Sir John Herschel in einer Zeichnung (Fig. 120) darstellen. Er bedeckt über $^4/_7$ eines Quadratgrades der Himmelsdecke, und ist in viele unförmliche Massen vertheilt, die von ungleicher Lichtstärke sind. Man bemerkt in seinem Innern einen leeren, fast ovalförmigen Raum, der mit einem sehr schwachen Lichtscheine bedeckt ist[16]).

Neuntes Kapitel.

Die Nebelflecke sind nicht gleichförmig über den ganzen Himmel verbreitet.

Gleich zu Anfange seiner Beschäftigung mit den Nebelflecken machte Herschel eine wichtige Bemerkung; er fand nämlich, daß sie im Allgemeinen Lager (strata) bilden. Eines derselben ist sehr ausgedehnt und steht fast senkrecht auf der Milchstraße: es ist das Lager, in welchem sich der Große Bär, Cassiopeja, das Haar der Berenice

Fig. 114. Nebelfleck nahe des ν in der Andromeda.

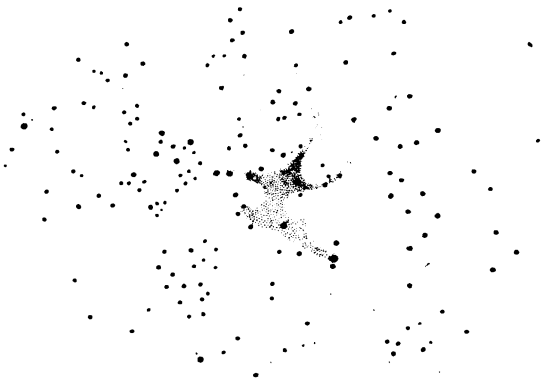


Fig. 115. Nebelfleck zwischen Kopf und Bogen des Schützen.

[illegible] β [illegible] γ [illegible]

Fig. 5. Nebulosum am [illegible]

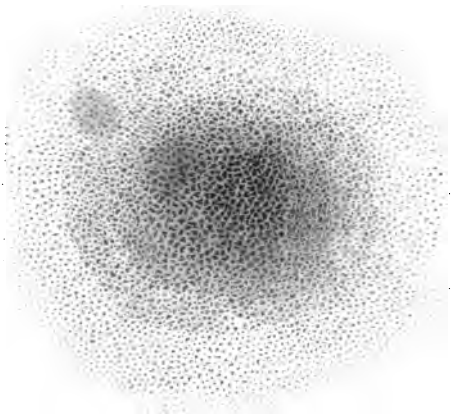


Fig. 6. Nebelfleck nahe bei ω im Centaur

Fig. 7. Planetarischer Nebel nahe bei β im grossen Bären

FIG 120 Nebelfleck bei η im Schiffe Argo

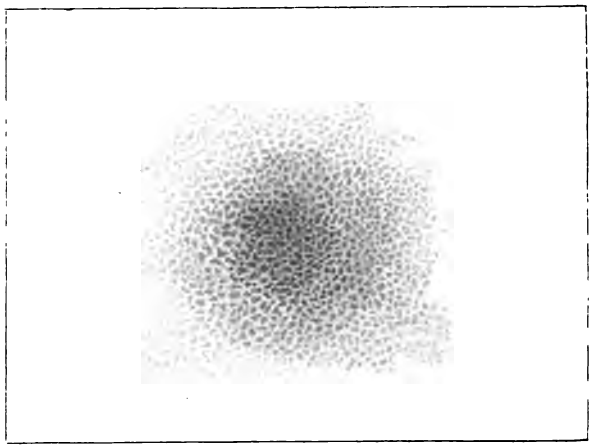


FIG 122 Nebelfleck zwischen ζ und η im Herkules

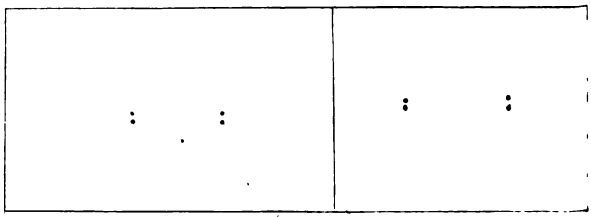


FIG 123 Elliptischer Nebel im Schützen *FIG 124* Elliptischer Nebel bei ζ im kleinen Bären

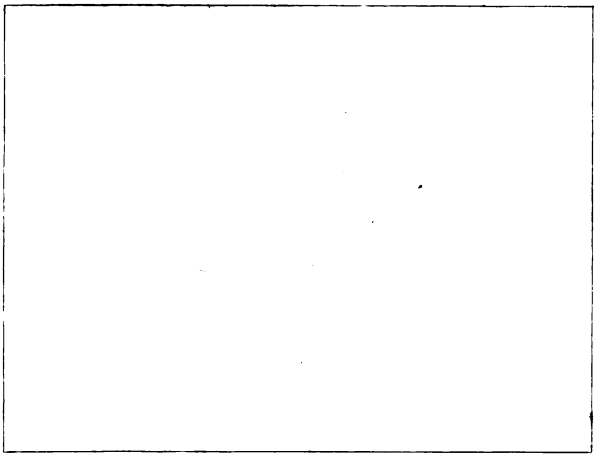


FIG 121 Nebelfleck im nordlichen Jagdhunde nach John Herschel

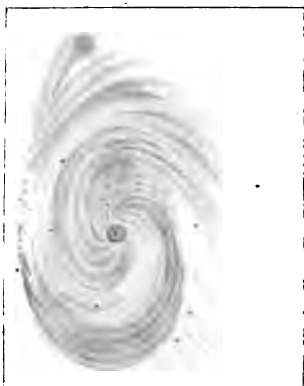


FIG 123 Nebelfleck im nordlichen Jagdhunde nach Lord Rosse

FIG 124 Spiralformiger Nebelfleck im nordlichen Flugel der Jungfrau

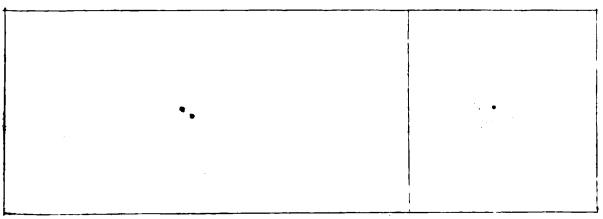


FIG 127 Elliptischer Nebel im Centauer

FIG 128 Nebelfleck bei ζ im Perseus

und die Jungfrau befinden. Mitten in einer solchen Nebelschicht sah William Herschel im Felde seines Fernrohrs, in der kurzen Zeit von 36 Minuten, nicht weniger als 31 ganz deutliche Nebelflecke vorüberziehen.

Sir John Herschel hat gefunden, daß die nördliche Halbkugel des Himmels von 9^h bis 15^h allein 1111 Nebelflecke enthält, welche sich nach den sechs Stunden der Gradenaufsteigung folgendermaßen vertheilen[17]):

von 9^h	— 10^h	. . . . .	90
10	— 11	. . . . .	150
11	— 12	. . . . .	251
12	— 13	. . . . .	309
13	— 14	. . . . .	181
14	— 15	. . . . .	130

Zehntes Kapitel.

Ueber den Zusammenhang der Nebelflecke mit den umliegenden Räumen.

Im Allgemeinen enthalten die den einfachen Nebelflecken vorangehenden oder nachfolgenden Regionen wenig Sterne, und dies gilt um so mehr von den Nebelgruppen. Diese Regel fand Herschel jedes Mal bewährt, so daß er gewohnt war, wenn in Folge der Bewegung des Himmels kurze Zeit hindurch kein Stern in das Feld seines feststehenden Teleskops eintrat, zu dem ihm assistirenden Schreiber zu sagen: Halten Sie sich zum Schreiben bereit, es werden Nebelflecke kommen.

Elftes Kapitel.

Die sternärmsten Gegenden findet man neben den reichsten Nebelflecken.

Mitten im Skorpion gibt es eine Gegend von vier Grad Breite, in welcher man keinen Stern bemerkt. Am Westrande dieser weiten, dunkeln Oeffnung liegt der in der Connaissance des temps

mit Nro. 80 bezeichnete Nebelfleck, derselbe, den William Herschel für einen der sternreichsten und dichtesten Haufen hält, den der Sternhimmel dem forschenden Astronomen darbieten könne.

Dieselbe Erscheinung wiederholt sich beim vierten Sternhaufen der Connaissauce des temps; denn diese Gruppe befindet sich gleichfalls am westlichen Rande eines sternleeren Raumes.

Einige Astronomen geben solchen dunkelen Räumen (gewissermaßen Oeffnungen im Himmel), Stellen, an denen man keinen einzigen Stern sieht, den Namen Kohlensäcke.

Im Vorstehenden haben wir durch Beobachtung gefunden, daß die Sterne in den kugelförmigen Nebelflecken gegen den Mittelpunkt hin sehr verdichtet sind; halten wir nun diese Thatsache zusammen mit der andern Beobachtung, aus der wir den Beweis entnahmen, daß diese Sterne aufs Deutlichste einer gewissen verdichtenden Kraft gehorchen (6. Kap. S. 438), so werden wir nicht abgeneigt sein mit Herschel anzunehmen, daß die Nebelflecke mitunter das Ergebniß der ununterbrochenen Arbeit vieler Jahrhunderte sind, und daß sie auf Kosten der isolirten Sterne entstanden, welche die benachbarten Regionen einnahmen. Bei dieser Ansicht der Dinge hat das Vorhandensein leerer, verwüsteter Himmelsräume (um mich mit dem großen Astronomen dieses malerischen Ausdrucks zu bedienen) durchaus Nichts, was unsere Einbildungskraft verwirren könnte.

Zwölftes Kapitel.

Die diffuse Materie erfüllt weite Himmelsräume.

Von den mit Hülfe mächtiger Fernröhre in Sterne auflöslichen Nebelflecken wenden wir uns denjenigen zu, bei welchen eine solche Zerlegung niemals gelungen ist; wir betrachten die Ansammlungen diffuser, selbstleuchtender Materie, die hier und dort an der Himmelsdecke verbreitet sind.

Im Jahre 1811 publicirte William Herschel ein Verzeichniß von 52 diffusen (weitverbreiteten) Nebelflecken, die nicht auflösbar oder

wenigſtens nicht aufgelöſt waren, und unter denen man einzelne bemerkt, welche nach einer gewiſſen Richtung hin ſich über 4° 9′ erſtrecken. Die ſcheinbare Oberfläche eines einzigen derſelben beträgt mehr als 9 Kreiſe von je einem Grade im Durchmeſſer. Die Geſammtoberfläche aller dieſer Nebel ſteigt auf 152 ſolche Kreiſe, d. h. etwa auf den 270ſten Theil derjenigen Anzahl ſolcher Kreiſe, welche die Totalfläche des Himmelsgewölbes ausmachen.

Dreizehntes Kapitel.

Den großen ſchimmernden Flecken fehlt jede regelmäßige Geſtaltung.

Die Geſtalten der ſehr ausgedehnten, diffuſen Nebelmaſſen ſind, wie es ſcheint, keiner Beſchreibung fähig; ſie zeigen durchaus keine Regelmäßigkeit, und es gibt deren mit geradlinigem, krummlinigem und gemiſchtlinigem Umfange. Einige Nebelflecken dieſer Gattung ſind auf einer Seite ſcharf, plötzlich und hell begrenzt, während ſie auf der entgegengeſetzten Seite in unmerklicher Abnahme in das Himmelslicht zerfließen. Aus einigen erſtrecken ſich weithin lange Aerme; bei andern bemerkt man im Innern große dunkele Räume. Alle die phantaſtiſchen Geſtalten, welche das Gewölk annimmt, wenn heftiger, oft umſpringender Wind es jagt und peitſcht, findet man wieder am Himmel der diffuſen Nebelflecke.

Die diffuſen Nebelflecke von runder Geſtalt haben im Verhältniß zu den übrigen nur geringe Ausdehnung. Ein Umſtand, der aller Aufmerkſamkeit werth zu ſein ſcheint, iſt das öftere Vorhandenſein eines ſehr dünnen, fadenförmigen Nebels zwiſchen zwei ſolchen runden, wohl getrennten und gut begrenzten Nebelflecke; man möchte dieſe Erſcheinung gewiſſermaßen für einen ſichtbaren Zeugen des gemeinſchaftlichen Urſprungs beider Objecte halten.

Vierzehntes Kapitel.

Ueber das Licht der eigentlichen Nebelflecke.

Lange Zeit sind die in Sterne auflöslichen Nebelflecke für eigentliche Nebel gehalten worden, und schon aus diesem Grunde darf man nicht erwarten zwischen dem Lichte beider Gattungen von Objecten vollkommen scharfe Unterschiede zu finden. Indessen bieten die aus diffuser, zusammenhängender, phosphorescirender Materie bestehenden Nebelflecke einen ganz besonderen Anblick dar, der die frühesten Beobachter, denen es vergönnt war den Himmel mit guten Fernröhren zu betrachten, vorzüglich in Erstaunen setzte.

So trägt z. B. Halley kein Bedenken, das Licht der Nebelflecke im Orion und in der Andromeda (Fig. 114 und 115) aus einer ganz eigenen Quelle herzuleiten: „Diese Flecken, äußert er[18]), sind in Wirklichkeit nichts Anderes, als Licht aus einem unermeßlichen Raume, der sich in den Regionen des Aethers befindet, und von einer diffusen, selbstleuchtenden Materie erfüllt ist*)."

Nicht weniger deutlich spricht Derham seine Ansicht aus: nach ihm kann das Licht der Nebelflecke unmöglich einer Ansammlung von Sternen entspringen. Er stellt sogar die Frage auf, ob nicht jenseits der äußersten Fixsternsphäre, wie viele Gelehrte ehemals annahmen, eine ganz leuchtende Region, ein Feuerhimmel vorhanden sein könne, und ob nicht etwa die Nebelflecke diese glänzende Region seien, gesehen durch eine Oeffnung oder eine Kluft (chasm) in der (vermuthlich krystallenen) Sphäre des obersten, beweglichen Himmels[19]).

---

*) In der Abhandlung, welcher ich diese Stelle entnehme, findet sich eine Bemerkung, die um so eigenthümlicher ist, als sie von einem Manne herrührt, der seinen religiösen Unglauben fast öffentlich bekannte. „Diese Nebelflecke, schrieb Newton's Freund, heben die Schwierigkeit vollständig auf, die Manche gegen die mosaische Schöpfungsgeschichte erhoben haben, indem sie behaupten, es sei ganz unmöglich, daß das Licht ohne die Sonne geschaffen sei. Die Nebelflecken beweisen deutlich das Gegentheil, denn mehrere derselben zeigen in der Mitte keine Spur eines Sternes."

Dieſer Meinung Derham's erwähnt Voltaire in einem ſeiner geiſtreichen Romane: „Mikromegas, heißt es dort, durcheilt die Milchſtraße in kurzer Zeit; ich muß aber geſtehen, daß er nirgends zwiſchen den Sternen, mit denen ſie beſäet iſt, jenen ſchönen Wohnſitz der Seligen erblickte, den der berühmte Vikar Derham ſich rühmte ganz nahe vor ſeinem Fernrohre geſehen zu haben. Ich will damit durchaus nicht behaupten, Herr Derham habe ſchlecht geſehen, — durchaus nicht! Aber Mikromegas iſt an Ort und Stelle geweſen und Derham iſt ein guter Beobachter; ſo will ich keinem von Beiden widerſprechen."

Feiner und geiſtvoller konnte Derham's bizarre Vorſtellung gewiß nicht kritiſirt werden; aber es wundert mich, daß Voltaire, der Alles wußte, ſich nicht an den Umſtand erinnerte, daß der Verfaſſer der „aſtronomiſchen Theologie" nicht der Erfinder des Feuerhimmels geweſen. Schon Anaragoras hatte behauptet, die oberſten Regionen (der Aether) ſeien von Feuer erfüllt. „Mitunter entſtehen, hatte Seneca geſagt[20]), Oeffnungen am Himmel, durch welche man die Flamme erblickt, die den Hintergrund einnimmt." Sogar Huygens gebrauchte bei Beſchreibung des Orionnebels die folgenden Worte: „Man möchte glauben, das Himmelsgewölbe ſei an dieſer Stelle geborſten, und erlaube dem Blick in leuchtendere Regionen einzudringen."

Und ſollten endlich die angeführten Autoritäten, ihres Alters wegen, nicht deutlich genug beweiſen, daß im Lichte der eigentlichen Nebelflecke etwas ganz Charakteriſtiſches iſt, ſo berufe ich mich auf die folgenden, aus neuſter Zeit ſtammenden Worte Sir John Herſchel's: „In allen (auflöslichen) Nebelflecken bemerkt der Beobachter (bei jeder beliebigen Vergrößerung) ein Aufflimmern von Sternen, oder hat wenigſtens den Eindruck, als müſſe man daſſelbe bei deutlicherem Sehen bemerken. Einen durchaus verſchiedenen Eindruck ruft aber der Orionnebel hervor: bei dieſem Gegenſtande wird man nicht entfernt an Sterne zu denken veranlaßt."

Funfzehntes Kapitel.

Vertheilung der phosphorescirenden Materie in den eigentlichen Nebelflecken; Aenderungen, welche darin in Folge der Attraction mit der Zeit eintreten.

Das Licht jener ausgedehnten milchigen Flecken, welche die eigentliche Nebelflecken sind, zeigt im Allgemeinen große Schwäche und Gleichförmigkeit; nur stellenweise bemerkt man einige Räume, die sich durch größeren Glanz von den übrigen unterscheiden.

Welches mag der Grund sein dieser vermehrten Helligkeit in besondern Punkten? Rührt diese Zunahme der Lichtstärke von größerer Verdichtung her, oder etwa von größerer Tiefe der Nebelmaterie? Es ist keineswegs gleichgültig, welcher von beiden Erklärungsweisen man den Vorzug gibt.

Meist sind die Stellen, wo man in großen Nebelflecken ein verhältnißmäßig lebhaftes Licht wahrnimmt, von geringer Größe; will man also die Erscheinung durch eine größere Tiefe der Nebelmaterie erklären, so muß man sich vorstellen, daß an jedem der in Rede stehenden Punkte der Stoff gewissermaßen säulenförmig aufgehäuft sei: man muß sich eine gerade, sehr dünne Säule genau gegen die Erde gerichtet denken. An einem oder dem andern ausgezeichneten Punkte kann diese besondere Richtung wohl möglich erscheinen, aber unmöglich kann diese Annahme bei allen den kleinen helleren Stellen, die sich am ganzen gestirnten Himmel zeigen, zugelassen werden, nicht einmal bei den zwei, drei oder vier Stellen, die sich in einem und demselben Nebelflecke bemerklich machen. So ist man denn gezwungen anzunehmen, es habe eine Concentration, eine Verdichtung in verschiedenen Punkten jener nebelerfüllten Regionen stattgefunden, deren ungeheure Oberflächenerstreckung wir bereits oben gefunden haben (12. Kap. S. 443).

Ist nun diese Verdichtung die Wirkung einer anziehenden Kraft, derjenigen analog, welche alle Bewegungen in unserm Sonnensysteme beherrscht und regelt? Dies ist das schwierige Problem, dessen Auflösung zu suchen uns nun obliegt.

In Zukunft wird es zweier Blicke genügen, einmal auf die derzeitigen Abbildungen und dann auf die durch Feinheit und Treue be-

wundernswürdigen Darstellungen, welche die Astronomen heutzutage entwerfen, um darüber zu entscheiden, ob die Zeit Umrisse und Gestalten jener geheimnißvollen Bildungen merklich verändert; da uns aber in dieser Beziehung das Alterthum durchaus Nichts zur Vergleichung überliefert hat, so sind wir genöthigt die Aufgabe auf directem Wege anzugreifen. Nichtsdestoweniger habe ich begründete Hoffnung, die Lösung werde vollkommen überzeugend scheinen.

Diejenigen Erscheinungen, welche durch das Vorhandensein verschiedener, über den ganzen Raum eines einzigen, ausgedehnten Nebelflecks verbreiteter Mittelpunkte der Anziehung bedingt werden, lassen sich in folgender Ordnung entwickeln:

Stellenweise verschwindet der phosphorescirende Schimmer; es entstehen Unterbrechungen der Continuität, und infolge der Bewegung der Materie nach den anziehenden Mittelpunkten hin, zerreist der ursprüngliche, lichte Vorhang.

Diese Zerreißungen schreiten fort, d. h. ein einziger Nebelfleck verwandelt sich in mehrere gesonderte, die nahe beieinander liegen, und bisweilen durch dünne Nebelfäden verbunden bleiben.

Der äußere Umfang der einzelnen Nebelflecke gewinnt Rundung; schneller oder langsamer wächst die Lichtstärke vom Umfange zum Mittelpunkte hin.

Es bildet sich ein Kern, sehr auffällig durch Größe und Glanz.

Jeder Kern geht über in den sternichten Zustand, und es bleibt nur ein dünner Nebel um ihn her übrig.

Endlich fällt auch diese letzte Nebulosität, und das Ergebniß des ganzen Vorganges sind ebensoviele Sterne, als in der ursprünglichen Nebelmaterie gesonderte Mittelpunkte der Anziehung vorhanden waren.

Wie langer Zeit bedarf aber ein und derselbe Nebel, um diese ganze Reihe von Umwandlungen zu erfahren? Auf diese Frage ist man durchaus nicht im Stande eine Antwort zu geben. An einer Stelle wären vielleicht Millionen von Jahren erforderlich, während anderswo, unter andern Verhältnissen der Größe, der Dichtigkeit und der physischen Beschaffenheit des phosphorescirenden Stoffes, viel kürzere Perioden ausreichen würden, wie etwa das plötzliche Erscheinen des neuen Sternes von 1572 andeuten könnte (9. Bch., 28. u. 29. Kap.).

Aus dieſen ungleich ſchnellen Verwandelungen läßt ſich noch eine wichtige Folgerung herleiten. Geht man nämlich von dieſer Grundlage aus, ſo iſt einleuchtend, daß die geſammten Nebelflecke, bei allen gleiches Alter vorausgeſetzt, die verſchiedenen, ſoeben aufgezählten Formen gleichzeitig dem Beobachter darbieten müſſen. Nach einer gewiſſen Richtung hin werden die Jahrhunderte kaum eine bemerkbare Anhäufung des phosphorescirenden Stoffes um einige Mittelpunkte der Anziehung herbeigeführt haben; während wir in einer andern Region, infolge einer ſchnelleren Concentrationsbewegung, ſchon Nebelgruppen mit Kernen antreffen; endlich wird man an einzelnen Stellen Nebelſterne erblicken, welches die letzte Staffel iſt, die zu den eigentlichen Sternen führt.

Alle dieſe Zuſtände der Nebelmaterie, auf welche uns die Theorie führt, hatte die Beobachtung ſchon vorher kennen gelehrt, und die Uebereinſtimmung hat ſich ſo befriedigend, wie man wünſchen konnte, erwieſen; nur hat man, ſtatt dieſe Umwandlungen in einem einzigen Nebelflecke Schritt für Schritt zu verfolgen, den Gang und die Fortſchritte der Entwicklung durch Beobachtungen an den Nebeln im Allgemeinen feſtſetzen müſſen. Aber befolgt nicht der Naturforſcher genau daſſelbe Verfahren, wenn er in allen Altersſtufen die Haltung, den Wuchs, die Geſtalten und das äußere Anſehen der Bäume beſchreiben ſoll in Wäldern, die er flüchtig durchzieht? Alle Umgeſtaltungen, die ein ganz junger Baum erfahren wird, ſieht er auf einen Blick klar und unzweideutig durch Vergleichung anderer Bäume derſelben Gattung, die in Wuchs und Entwicklung bereits weiter vorgeſchritten ſind.

Sechzehntes Kapitel.

Geſchichtliches Detail über die Umwandlung von Nebelflecken in Sterne; Prüfung der Bedenken, welche dieſe Vorſtellungen des Ueberganges erregt haben.

Um zu dem wichtigſten Schluſſe über das Entſtehen der Welt zu gelangen, hatten wir nur nöthig, die verſchiedenen Geſtaltungen, in welchen ſich die diffuſen Nebelflecke zeigen, gehörig zu ordnen. Mit-

telst natürlicher und nüchterner Verbindung von Beobachtung und Theorie haben wir mit großer Wahrscheinlichkeit festgesetzt, daß eine stufenweise Verdichtung der phosphorescirenden Materie zuletzt zu fixsternähnlichen Bildungen führt, kurz daß wir dem Entstehen wahrer Fixsterne beiwohnen.

Dieser kühne Gedanke ist nicht so durchaus neu, wie man glauben könnte: ich kann ihn z. B. bis auf Tycho-Brahe zurückführen*).

Denn dieser Astronom hielt wirklich den neuen Stern von 1572 für das Ergebniß der neuentstandenen Anhäufung eines Theiles der diffusen, im ganzen Weltraume verbreiteten Materie, welche er den Himmelsstoff nannte.

Seiner Ansicht nach war dieser Stoff in der Milchstraße viel reichlicher vorhanden, als irgendwo anders. War es daher wunderbar, fragte er, daß der Stern inmitten dieser leuchtenden Zone erschien? Tycho glaubte sogar einen dunkeln Raum von der halben Größe der Mondscheibe an der Stelle selbst, wo der Stern erschienen war, zu bemerken, und erinnerte sich nicht, diesen Flecken früher gesehen zu haben.

Keppler seinerseits ließ den neuen Stern von 1604 aus verdichtetem Aetherstoffe bestehen. Denselben Stoff, in geringerem Grade der Verdichtung, hielt er für die physische Ursache der Atmosphäre, welche die Sonne umhüllt, und die sich, während der ganzen Dauer totaler Sonnenfinsternisse, in Gestalt einer schwach leuchtenden Krone zeigt. Der neue Stern von 1572 war in der Milchstraße erschienen; nicht weit von ihr entfernt stand der neue Stern von 1604. In diesem

*) Absichtlich übergehe ich die Vorstellung der weisen Brahminen, derzufolge außer den vier irdischen Elementen ein fünftes vorhanden ist, das sie Akasch nennen, aus welchem der Himmel und die Gestirne bestehen. Dies fünfte Element kann man unbedingt für die Nebelmaterie der neueren Astronomen halten, aber Nichts berechtigt uns, dünkt mich, zu der Annahme, daß die Hindus damit die Vorstellung verknüpft hätten, daß gegenwärtig unter unsern Augen neue Sterne auf Kosten dieses Stoffes gebildet werden.

Zusammentreffen erkannte Keppler einen hinreichenden Grund für den gemeinschaftlichen Ursprung beider Gestirne; doch fügte er folgende Bemerkung hinzu: „Wenn die Milchstraßen-Materie unaufhörlich Sterne erzeugt, wie kommt es, daß sie nicht erschöpft wird; warum scheint die Zone, welche sie enthält, sich seit Ptolemäus nicht vermindert zu haben?“ Hierin liegt jedoch keine ernstliche Schwierigkeit: denn woher wissen wir was die Milchstraße vor funfzehn Jahrhunderten gewesen?

Siebzehntes Kapitel.

Von der Verdichtung, welche die diffuse Materie erleiden muß, um in Sterne überzugehen.

Es schien als hätten die Gegner der großartigen Vorstellungen, an die ich soeben erinnerte, ein bedenklicheres Feld von Einwürfen betreten, als sie, gestützt auf die äußerst geringe Dichte der diffusen Materie, die Behauptung aufstellten, daß aus der am ganzen Himmel beobachteten Gesammtmasse dieser Materie, nicht ein einziger, unserer Sonne an Größe und Dichtigkeit vergleichbarer Stern hervorgehen könne. Eine Berechnung, die Herschel angestellt hat, führte diese Schwierigkeit auf ihren wahren Werth zurück.

Man denke sich eine kubische Anhäufung nebliger Materie, deren Seite, von der Erde gesehen, unter einem Winkel von nur 10 Minuten erscheint, und nehme an, diese Ansammlung sei in der Region der Sterne achter bis neunter Größe belegen. Die Rechnung lehrt in diesem Falle, daß der räumliche Inhalt um mehr als 2 Trillionen Mal das Volumen der Sonne übertrifft, ein Resultat, das sich auch folgendermaßen aussprechen läßt: die diffuse Materie, aus welcher der Kubus von 10 Minuten Seite besteht, würde nach einer 2 trillionenfachen Verdichtung noch einen ebenso großen Raum, als unsere Sonne einnehmen. Hat man aber über eine Verdichtung nachgedacht, welche durch die ungeheure Zahl von 2 Trillionen ausgedrückt wird? Offen-

bar können alſo die Einwürfe, welche man gegen das heutige Entſtehen von Sternen aus der geringen Dichte der diffuſen Materie hergeleitet hat, hiernach gänzlich bei Seite gelaſſen werden.

Achtzehntes Kapitel.

Vergleichung der Intenſitäten des Geſammtlichtes eines Nebelfleckes und des condenſirten Fixſternlichtes.

Nachdem wir die Fragen nach dem körperlichen Inhalte und der Dichtigkeit unterſucht haben, müſſen wir ferner fragen, ob das matte, zerſtreute Licht eines Nebelfleckes hinreichen würde, um durch Verdichtung das helle, ſtechende, funkelnde Sternlicht zu erzeugen?

Dieſe Frage hat Herſchel, meines Wiſſens, nicht in Betracht gezogen; irre ich nicht, ſo läßt ſie ſich in wenigen Worten erledigen.

Zunächſt will ich bemerken, daß es durch keine Thatſache als Grundſatz feſtſteht, die Verdichtung der diffuſen Materie vermehre nicht die Leuchtfähigkeit jedes Theilchens derſelben. Doch dieſe Möglichkeit einer Vermehrung des Glanzes laſſe ich gänzlich bei Seite, und beſchränke den Gegenſtand auf folgende, äußerſt einfache Frage: iſt der ſchwache Schimmer, in welchem alle Punkte dieſes oder jenes diffuſen Nebelfleckes leuchten, in ſeiner Geſammtheit dem Lichte dieſes oder jenes Sternes gleich?

Praktiſch iſt man nicht im Beſitze eines Mittels, das ſchwache Licht, das der ganzen Oberfläche eines großen Nebelfleckes entſtrömt, in einen einzigen Punkt gehörig zu vereinigen; dagegen iſt die umgekehrte Operation ohne Schwierigkeit ausführbar. Wenn man das Ocular eines Fernrohrs langſam aus der Stellung verſchiebt, welche es bei deutlichem Sehen einnimmt, ſo ſieht man das Bild jedes Sternes nach und nach wachſen und lichtſchwächer werden, und indem man eines dieſer Bilder ſoweit ausdehnt, daß es faſt das ganze Geſichtsfeld einnimmt, kann man es bis zu dem Schimmer der milchigen Nebelflecke abſchwächen. Hierauf führen uns Rechnungen, in welche verſchiedene Elemente, verſchiedene Verbeſſerungen eingreifen, die ich

an dieſem Orte, ohne die mir geſteckten Grenzen zu überſchreiten, nicht vollſtändig aufzählen kann, zu den geſuchten Reſultaten, nämlich zu den numeriſchen Vergleichungen zwiſchen der Stärke des über die große Ausdehnung der milchigen Nebelflecke zerſtreuten Lichtes, und der Intenſität des condenſirten Fixſternlichtes. Die Ergebniſſe aus dieſen Verſuchen und Rechnungen ſprechen zu Gunſten der Tychoniſchen, Kepler'ſchen und Herſchel'ſchen Vorſtellungen über die Umwandlung der Nebelflecke in Sterne.

Neunzehntes Kapitel.

Beobachtete Veränderungen in einigen Nebelflecken.

Bei Vergleichung ſeiner Beobachtungen von den Jahren 1780 und 1783 mit denen des Jahres 1811, fand Herſchel, daß der Orionnebel ſeine Geſtalt und Ausdehnung merklich geändert habe. „Das hieß, um mich eines Fontenelle'ſchen Ausdrucks zu bedienen, die Natur auf der That ergriffen haben."

Schon Bullialdus, Kirch und Legentil glaubten in den Jahren 1667, 1676 und 1759, daß im Andromedanebel große Veränderungen vorgingen. Daſſelbe behauptete Mairan vom Nebel im Orion, geſtützt auf die Autorität von Godin und Fouchy; aber die Aſtronomen blieben nichtsdeſtoweniger unentſchieden: nicht ohne Grund wandten ſie ein, daß die Beobachtungen ſo lichtſchwacher, ſchlecht begrenzter Objecte, um überhaupt vergleichbar zu ſein, jedes Mal mit gleich guten Inſtrumenten angeſtellt ſein müßten. Dieſe Bedingung war aber nicht erfüllt worden. Herſchel dagegen unterwarf ſich derſelben auf's Genauſte; ſein Fernrohr im Jahre 1811 war in Nichts vom Inſtrumente des Jahres 1783 unterſchieden. Dies gab ihm den Muth zu behaupten: „Ich habe Veränderungen nachgewieſen" (Phil. Trans. 1811, S. 324). Indeſſen hat man den Beweis nicht für ſo frei von Einwendungen erachtet, daß nicht ſelbſt Sir William's Sohn neuerdings geglaubt hätte, Zweifel dagegen ausſprechen zu müſſen. Die

ſchöne Abhandlung Sir John Herſchel's liegt allzuweit außerhalb der Grenzen, die ich mir geſetzt habe, als das ich hier ausführliche Mittheilungen daraus machen könnte[21]).

Zwanzigſtes Kapitel.

Planetariſche Nebel. Iſt es begründet, daß man zur Erklärung des gleichförmigen Glanzes ihrer Scheiben nothwendig annehmen müſſe, die diffuſe Materie werde von einer gewiſſen Stufe der Verdichtung an undurchſichtig?

Planetariſche Nebel nannte William Herſchel alle diejenigen Nebelflecke, welche durch ihr Aeußeres den Planeten unſeres Syſtems ähnlich ſind. Sie ſind entweder kreisförmig, oder etwas elliptiſch; einige beſitzen deutlich begrenzte Umriſſe, andere ſind wie von einem leichten Nebel umſchloſſen; ihr Licht iſt über die ganze Scheibe gleichmäßig hell. Unter den von Herſchel entdeckten planetariſchen Nebeln finde ich einige von 10, 15, 30 und ſogar 60 Secunden im Durchmeſſer.

Die phyſiſche Conſtitution der planetariſchen Nebel hielt Herſchel für ganz räthſelhaft; in dieſer Beziehung hatte ihm ſeine reiche Einbildungskraft nichts recht Annehmbares, nichts ganz Befriedigendes geboten. Man konnte dieſe Körper nicht zu den kugelförmigen, aus Sternen beſtehenden Nebelflecken rechnen, wenn man nicht gleichzeitig erklärte, weswegen ihr Licht ſich nicht nach dem Mittelpunkte hin verſtärkte. Wollte man dagegen die planetariſchen Nebelflecke für eigentliche Sterne gelten laſſen, ſo ging man über alle Analogien hinaus, ſo ſchuf man Sterne, deren wirkliche Durchmeſſer 13 tauſend Mal den Sonnendurchmeſſer übertrafen (Durchmeſſer von 2300 Millionen Meilen); ſo legte man endlich dieſer Gattung von Geſtirnen ein mattes Licht bei, wie es bisher kein einziger Stern dargeboten hatte.

Nach langem Zögern entſchied ſich Herſchel dafür, die planetariſchen Nebel als bereits ſehr verdichtete Anhäufungen diffuſer Materie zu betrachten. Durch dieſe Zuſammenſtellung (das darf man ſich nicht verhehlen), wird man zu einer Vorausſetzung genöthigt, die

wenig natürlich erscheinen könnte. Um nämlich zu erklären, aus welchem Grunde die planetarischen Nebelscheiben um den Mittelpunkt kaum glänzender erscheinen, als an den Rändern, muß man annehmen, daß das Licht nicht aus der ganzen Tiefe des Nebelflecks hervortritt, (denn sonst würde die Lichtstärke zunehmen mit der Anzahl der strahlenden, materiellen Theilchen, die in der Richtung der einzelnen Gesichtslinien liegen); man muß vielmehr die Strahlung ausschließlich an der Oberfläche stattfinden lassen, mit andern Worten, das Zugeständniß machen, daß die diffuse, oder wenn man will, milchige Materie, von einem gewissen Grade der Dichtigkeit an, ihre Durchsichtigkeit verliert.

Ohne darüber entscheiden zu wollen, scheint es mir dennoch, daß die planetarischen Nebel wirklich Nebelsterne sind, in solchem Abstande von der Erde, daß der Centralstern nicht vor dem umgebenden diffusen Lichtschimmer hervorleuchtet. In dieser Beziehung verweise ich den Leser auf das nachfolgende Kapitel, in welchem ich von den Nebelsternen handeln werde.

Ein einziges Wort nur bemerke ich über die Gefährlichkeit allzu absoluter Schlüsse, die sich auf den Entwickelungsproceß der diffusen Materie und auf die verschiedenen Gestalten gründen ließen, welche sie bei eintretender Verdichtung annehmen kann. Ist nicht noch kürzlich behauptet worden, die Milchnebel-Substanz im Orionnebel stehe nicht unmittelbar in Berührung mit den Sternen des allen Astronomen so wohlbekannten Trapezes $\alpha\gamma\beta\varkappa$? Hat man nicht gesagt, diese Sterne ständen inmitten des Nebels wie isolirt, und ein dunkler Raum umgebe dieselben? Aber bisher, muß man gestehen, haben die Astronomen noch nicht bewiesen, daß die soeben angeführte Erscheinung etwas Anderes sei, als eine bloße Contrasterscheinung; es kann hier recht wohl ein sehr schwaches Licht sein, das nur vor einem sehr hellen verlöscht. Wollte man alle Zweifel heben, so müßte man durch Reflexion von einem durchsichtigen und ebenen Spiegel mit parallelen Flächen, den man vor das Objectiv eines Fernrohrs oder vor die Oeffnung eines Spiegelteleskops anbrächte, das Bild irgend eines Sternes auf das Bild des Nebelflecks werfen, und darauf achten, ob das auf diese Weise reflectirte Sternbild von einem dunkeln Raume umgeben erschiene.

Unterdeſſen berechtigt uns Alles zu der Annahme, daß die kleinſten Theilchen der milchigen Nebelflecke in den unermeßlichen Gebieten des Raumes Kräften gehorchen, von denen wir uns keine Vorſtellung machen können. Gewiß werden alle diejenigen Beobachter mir beiſtimmen, welche die wunderbaren und oft faſt augenblicklichen Aenderungen des Halley'ſchen Kometen in ſeiner letzten Erſcheinung verfolgt haben; die Zurückhaltung und Vorſicht, welche ich anempfehle, wird ihnen, hoffe ich, ſehr natürlich erſcheinen.

Der allermerkwürdigſte unter den planetariſchen Nebeln iſt der von Méchain entdeckte (Fig. 119); er iſt ſüdlich vom Parallele des Sternes β im Großen Bären befindlich, und hat eine um 12′ größere Rectascenſion. Sein ſcheinbarer Durchmeſſer beträgt nach Sir John Herſchel 2′ 40″. Nimmt man an, dieſer Nebelfleck ſei von der Erde ebenſoweit entfernt, als der 61. Stern im Schwane, ſo wäre ſein Durchmeſſer ſieben Mal größer, als der Bahndurchmeſſer des Planeten Neptun. Das Licht dieſer Kugel, äußert derſelbe Aſtronom, iſt über die ganze Fläche gleichförmig vertheilt; nur an den Rändern bemerkt man eine ganz ſchwache Abnahme[22]). Dies Anſehen iſt durchaus verſchieden von dem, welches man an einer aus gleichförmiger Anhäufung von Sternen gebildeten Kugel beobachtet, oder an einer ähnlichen, aus Leuchtſtoff beſtehenden Kugel. Offenbar müßte in beiden genannten Fällen die Helligkeit vom Rande zum Mittelpunkte hin zunehmen.

Auf dies Ausſehen der planetariſchen Nebelflecke gründet der berühmte engliſche Aſtronom den Schluß, daß dieſelben entweder hohle Kugeln, oder flache, auf der Geſichtslinie von der Erde ſenkrechtſtehende Kreisſcheiben ſeien.

Einundzwanzigſtes Kapitel.

Nebelſterne.

Man muß wohl darauf achten, nicht die von Herſchel als Nebelſterne beſchriebenen Geſtirne mit denen zu verwechſeln, die in älteren Schriften, z. B. in Jakob Caſſini's Elémens d'Astronomie, dieſen

Namen erhalten. Nach Simon Marius, Bullialdus, Huygens und Anderen, war der weißliche Flecken, den man am Gürtel oder bei ν in der Andromeda entdeckt hatte (Fig. 114, 4. Kap., S. 440), und dessen Länge mehr als $2^1/_2$ Grad beträgt, bei einer Breite von mehr als 1 Grad, Nichts als ein Nebelstern, obgleich Niemand in diesem ganzen Flecken irgend etwas einem wirklichen Sterne Aehnliches bemerkt hatte. Die Objecte, welche Herschel als Nebelsterne betrachtet, sind wirkliche Sterne, umgeben von Nebeln, die von ihnen abhängig und mit ihnen im Zusammenhange sind; dahin gehört der Stern achter Größe am linken Fuße des Perseus, der sich in der Nähe von ζ dieses Sternbildes befindet, und den Fig. 128 darstellt. Die letzte Beschränkung, die ich noch zu genauer Unterscheidung dieser Gattung von Himmelskörpern machen muß, bezieht sich auf solche Sterne, die sich auf entferntere Nebelflecke projiciren, oder vor welche ein näher befindlicher Nebel tritt: mit andern Worten, ich schließe alle diejenigen Sterne aus, welche nur scheinbar Nebelsterne sind. Wie vermag man aber in diesem Punkte den Schein von der Wirklichkeit zu trennen; wie läßt sich ausmachen, ob der einen Stern anscheinend umgebende Nebelfleck, diesem Sterne gewissermaßen wie eine Atmosphäre zugehört, oder nur durch Wirkung der Projection oder perspektivisch mit ihm in Verbindung erscheint?

Diese Frage wird sicherlich alle diejenigen in Erstaunen setzen, die im 38. Bande der Philosophical Transactions (vom Jahre 1733) eine Abhandlung gelesen haben[23]), in welcher Derham erklärt, „bei Beobachtung des großen Orionnebels habe er bemerkt (perceived), daß die wenigen darin sichtbaren Sterne näher bei der Erde stehen, als jener Nebel;" und in welcher man bald darauf folgende, noch bestimmter lautende Stelle antrifft: „Ich erkannte ganz deutlich, daß die Nebelmaterie sich überall in einer gewissen Entfernung von den sie anscheinend umgebenden Sternen befindet .... kurz, diese Materie scheint ebensoweit jenseit der Fixsterne zu liegen, als diese Sterne selbst von der Erde entfernt sind."

Herschel hat, wie zu erwarten stand, trotz seiner mächtigen Instrumente, die Richtigkeit der Beobachtungen Derham's nicht bestätigen

können; diesen Beobachtungen fehlte in der That jede wirkliche Grundlage, und sie waren Nichts als ein Spiel der Einbildungskraft ihres Urhebers. Wenn nämlich Gegenstände eine Million Mal weiter entfernt sind, als die Länge des Fernrohrs beträgt, so gewinnt man durch dies Instrument keine Vorstellung von den Entfernungen: es ist dann durchaus gleichgültig, ob es sich um Millionen, Hunderte oder Tausende von Millionen Meilen handelt, denn die Bilder entstehen, ohne merklichen Unterschied, alle in derselben Brennpunktsebene. Durch welchen Kunstgriff sollte nun der Astronom, für dessen Auge die Objecte durch die Focalbilder sichtbar werden, im Stande sein zu entscheiden, ob die zum Entstehen dieser Bilder beitragenden Strahlen von nahe oder von ferne kommen? Statt übrigens anzunehmen, daß die Nebelsterne beträchtlich diesseit des milchigen Gewölks, das sie zu umgeben scheint, belegen seien, findet Herschel in der Betrachtung verschiedener Umstände, in Bezug auf Gestalt und Glanz dieser räthselhaften Gestirne, vielmehr gewichtige Gründe zu der Vermuthung, daß der glänzende Kern und der schwache, ihn umgebende Schimmer ein einziges Ganze, ein einziges System bilden.

Am 6. Januar 1785 bemerkt Herschel einen hellen, bis auf 2 oder $2^1/_2$ Minuten weit von einem Nebel umgebenen Stern, bei welchem der Nebel mit wachsender Entfernung vom Mittelpunkte stufenweise schwächer wird: „Hier haben wir," sagt er, „einen unzweifelhaften Beweis für die Zusammengehörigkeit des Sterns und des Nebels." Diesen Zusammenhang leitet er her im Jahre 1790 aus der Lage eines Sternes achter Größe genau im Mittelpunkte einer milchigen, streng kreisförmigen Atmosphäre von drei Minuten im Durchmesser, und von gleichförmigem, ungemein schwachem Lichte.

Vielleicht ließe sich, ohne den Beobachtungen des berühmten slougher Astronomen etwas Wesentliches hinzuzufügen, durch eine Erörterung, deren wir uns in dieser Form schon erfolgreich beim Studium der vielfachen Sterne bedient haben (10. Buch, 17. Kap. S. 420), für die wichtige vorliegende Frage, wenn auch nicht eine mathematische Lösung (einer solchen ist der Gegenstand nämlich nicht fähig), doch wenigstens eine auf Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen gegründete

Beantwortung gewinnen, welche nichtsdestoweniger Jedermann überzeugen könnte. Die Grundzüge dieser Betrachtung müßten folgende sein:

Am 6. Januar 1785 beobachtete also Herschel einen Stern, nahezu im Mittelpunkte eines vier bis fünf Minuten ausgedehnten Nebels, der gegen die Ränder hin stufenweise an Helligkeit abnahm. Am 17. Januar 1787 entdeckte er einen andern Stern neunter Größe, der gleichfalls den Mittelpunkt eines ziemlich hellen, doch sehr kleinen Nebelfleckes einnahm. Zwei andere Sterne, dem vom 17. Januar in Allem ähnlich, wurden am 3. November 1787 und am 5. März 1790 entdeckt. Bedenkt man nun, wie gering die Anzahl der runden, gedrängten Nebel am ganzen Himmel überhaupt ist; zieht außerdem in Betracht, daß diese isolirten, mattschimmernden Stellen gerade in der Gegend, wo sich die vier angeführten Sterne befinden, überaus selten vorkommen, und sucht man die Wahrscheinlichkeit, daß vier Sterne achter bis neunter Größe, allein infolge der Projection, genau die Mittelpunkte von vieren dieser kleinen, runden Nebelflecke einnehmen werden: so wird diese Wahrscheinlichkeit so ungemein klein ausfallen, daß jeder Verständige sich nothwendig den Herschelschen Ideen anschließen muß. Durch derartige Betrachtungen wird Jedermann die Ueberzeugung vom wirklichen Vorhandensein glänzender Sterne gewinnen, die mit unermeßlich großen, selbstleuchtenden Atmosphären umgeben sind. Damit wird gleichzeitig die Voraussetzung, daß diese Atmosphären bei allmälicher Verdichtung sich zuletzt mit den Centralsternen vereinigen und deren Glanz vermehren können, sehr annehmbar werden; und die Erinnerung an das Zodialkallicht, jene leuchtende Zone, die in ungeheurer Ausdehnung den Sonnenäquator umgiebt, und sich über die Venusbahn hinaus erstreckt, wird sich unserm Geiste aufdrängen als ein neuer Zug der Aehnlichkeit zwischen gewissen Fixsternen und unserer Sonne. In dieser Reihenfolge von Vorstellungen werden die Nebelflecke, von denen soeben die Rede gewesen, und in deren Mitte sich mehr oder weniger deutliche Spuren von Verdichtung zeigen, die solchen Flecken das Ansehen von Kometenköpfen geben, uns wie die ersten Anfänge des Entstehens von Fixsternen erscheinen. Fast für ausgemacht werden es alle Astronomen halten, daß diese kosmischen

Verdichtungen gewiſſermaßen ein Zuſtand der milchigen Materie ſeien, zwiſchen dem Zuſtande derjenigen Nebel, welche über die ganze Oberfläche gleich hell ſchimmern, und dem der eigentlichen Nebelſterne liegend; ſie ſind in jener Sonderung der Materie gleichſam die zweite unterſcheidbare Phaſe, welche eintritt beim Uebergange aus der Periode der diffuſen Gleichförmigkeit in den Zuſtand eines gewöhnlichen Sternes. Durch dieſe großartigen Anſichten Herſchel's werden wir zu nichts Geringerem, als zu dem Glauben veranlaßt, daß fortwährend neue Sterne entſtehen, daß wir Zeugen ſind der langſamen, fortſchreitenden Bildung neuer Sonnen. Solch ein Reſultat verdient es wohl, daß die Aſtronomen diejenigen Beobachtungen auf das Mannigfaltigſte anſtellen, welche die gegenwärtige, hohe Wahrſcheinlichkeit deſſelben noch vermehren könnten.

Zu dieſem Zwecke gilt es hauptſächlich, wie mir ſcheint, die abſoluten Oerter der Nebelflecke zu beſtimmen, und zwar mit all der Genauigkeit, die man bisher den Oertern der hellſten Sterne ausſchließlich gewidmet hat. Nehmen wir an (eine Vermuthung, die ſehr natürlich iſt), daß ſie eine merkliche eigene Bewegung haben, und daß ſich jeder dieſer Sterne trotzdem im Mittelpunkte ſeines Nebelfleckes erhält, ſo folgt daraus, daß der Nebel eine dem Sterne genau gleiche eigene Bewegung beſitzt; ein ſolches Zuſammentreffen aber wird denſelben Werth haben, wie ein Beweis der Zuſammengehörigkeit und der Verbindung des Sternes und des Nebels, gleichviel, ob die beobachtete Bewegung von einer wirklichen Verrückung herrührt, oder ob ſie zu den parallactiſchen Bewegungen gehört, d. h. zu denen, welche möglicherweiſe von der Fortbewegung unſeres Sonnenſyſtems im Raume herrühren. Daß eine aufmerkſame Beobachtung von Aenderungen in der Helligkeit oder in der Ausdehnung des Nebels ebenſo ſchnell oder ebenſo ſicher zu dem gewünſchten Reſultate führen könne, ſcheint mir nicht wahrſcheinlich.

Schon die Meſſungen, welche Herſchel von den Durchmeſſern einiger dieſer Sternatmoſphären gegeben hat, führen zu merkwürdigen Reſultaten. Machen wir z. B. die Annahme, zu der wir vollkommen berechtigt ſind, daß die jährliche Parallaxe des am 6. Januar 1785 entdeckten Nebelſternes, von welchem vorhin die Rede geweſen,

weniger als eine Secunde betrage; oder mit andern Worten, gehen wir aus von der Annahme, daß der Halbmesser der Erdbahn in der Entfernung, in welcher wir uns von diesem Sterne befinden, nicht unter dem Winkel von einer einzigen Secunde erscheint, so wird, weil wir den Nebelfleck unter einem Winkel von 150 Secunden erblicken, daraus folgen, daß die äußerste Grenze der milchigen Nebelmaterie mehr als 150 Mal weiter vom Centralsterne entfernt ist, als der Abstand zwischen Sonne und Erde beträgt. Fielen also die Mittelpunkte dieses Sternes und unserer Sonne zusammen, so würde seine Atmosphäre nicht nur die Uranusbahn einschließen, sondern noch acht Mal darüber hinausreichen. So merkwürdige Resultate durfte ich in diesem Buche nicht unerwähnt lassen.

Herschel hat sich die Frage vorgelegt, ob nicht die Fixsternatmosphären vielleicht gewöhnliche Gasatmosphären seien, die vom Lichte des Centralsternes beleuchtet, uns dasselbe theilweise zurückwürfen. Er beantwortete diese Frage verneinend, aber aus Gründen, die mir unrichtig zu sein scheinen. „Reflectirtes Licht, äußert der gefeierte Astronom, könnte uns in der ungeheuren Entfernung, aus welcher wir diese Gegenstände sehen, keineswegs erreichen." (Philos. Transact. 1791, S. 85). Bei einer genaueren Betrachtung indessen, die sich auf photometrische Grundsätze stützt, wird man finden, daß die scheinbare Helligkeit einer durch einen Stern erleuchteten Atmosphäre durch Entfernung keinenfalls abnehmen kann. Wie läßt sich diese Unveränderlichkeit der Helligkeit darthun? Aus zwei ungemein verschiedenen Entfernungen, die eine will ich 1, die andere 1 Million annehmen, müßte man nach der Atmosphäre des Sternes ein Rohr richten, dessen kreisförmige Oeffnung von der entgegengesetzten Seite her, d. h. von der Seite aus, wo sich das Auge des Beobachters befindet, unter einem constanten Winkel, etwa unter dem Winkel einer Bogenminute erschiene. Beim Uebergange von der ersten zur zweiten Entfernung würde die Lichtmenge, welche jeder von den genau in der Richtung des Rohrs belegenen Punkten der Atmosphäre in die kreisförmige Oeffnung und ins Auge senden würde, unzweifelhaft im Verhältniß der Quadrate von 1 und 1 Million abnehmen; andererseits aber müßte die Anzahl derjenigen Punkte derselben Atmosphäre, welche

das Auge durch die angedeutete Oeffnung überblicken würde, in der entfernteren Station größer sein als in der näheren, und zwar genau in demselben Verhältnisse der Quadrate von 1 Million zu 1. So wird also, was die Lichtstärke betrifft, Alles ausgeglichen sein.

Diese Beständigkeit, diese gleiche Helligkeit in allen möglichen Entfernungen bei einem Objecte, das unter einem merklichen Winkel gesehen wird; und dagegen auf der anderen Seite bei einem bloßen Punkte die Lichtabnahme im Verhältniß des Quadrats der Entfernungen, zeigen uns, wie mir scheint, einige von den sogenannten planetarischen Nebeln unter einem neuen Gesichtspunkte.

Fassen wir einen Nebelstern ins Auge; der eigentliche Stern steht in der Mitte, und wird unter einem unmeßbar kleinen Winkel gesehen; der ihn umgebende Nebel nimmt dagegen einen ziemlich beträchtlichen Raum ein. Ob diese Art von Dunst von gasförmiger Materie selbstleuchtend sei, oder ob sie nur das Licht des Centralsternes zurückwerfe, ändert durchaus Nichts an dem Erfolge.

In der Entfernung 1 wird das Licht des Centralsternes, nehme ich an, das Licht des Nebels bei Weitem übertreffen. In der Entfernung 2 wird das Licht des Sternes nur noch den vierten Theil betragen, während das des Nebels unverändert geblieben; denn infolge der Aenderung im Abstande würde der Nebelfleck nur in Betreff seiner Winkelgröße eine Veränderung erlitten haben, dergestalt daß ein Halbmesser von etwa 2 Minuten nur noch 1 Minute betrüge.

Rückte nun der Stern in die Entfernungen 3, 4 ... 10 ... 100, so würde seine ursprüngliche Lichtstärke dadurch auf den 9ten, 16ten, ... 100sten ... 10000sten Theil herabsinken, und während der Stern so ungemein geschwächt würde, sänke der Nebel zwar auf den 3ten, 4ten, ... 10ten ... 100sten Theil seiner ursprünglichen Größe, behielt aber die ihm inwohnende Helligkeit dennoch unverändert bei.

Gleichviel also, welches ursprünglich (ich meine bei einer ersten Entfernung) das Lichtverhältniß eines Sternes und seiner Atmosphäre gewesen, ist jedes Mal eine zweite Entfernung denkbar, in welcher der Stern eine so außerordentliche Schwächung seines Lichtes erfährt, daß er den Nebelfleck nicht länger übertrifft. Eine einfache Aenderung des Abstandes würde ausreichen, um einen Nebelstern dem Ansehen nach

in einen eigentlichen Nebelfleck umzuwandeln, d. h. in einen kernlosen Nebel ohne leuchtenden Mittelpunkt.

Zahlreiche Gründe machen es wahrscheinlich, daß in den Abständen der an der Himmelsdecke zerstreuten Gestirne von der Erde, die größte Mannigfaltigkeit, die größte Verschiedenheit herrscht. Es ist hiernach sehr wohl möglich, daß mehrere aus der Zahl der als nahezu gleichförmig erleuchtet in unsern Katalogen angeführten Nebelflecke, aus größerer Nähe betrachtet, in Nebelsterne übergehen würden.

Und was hinderte uns anzunehmen, daß sich alle Nebelflecke von durchaus regelmäßigen Formen, jene kreisrunden, die man planetarische nennt, in diesem Falle befinden? Diese Hypothese würde vollkommen in Einklang stehen mit den Muthmaßungen, welche wir über die physische Entstehungsweise dieser räthselhaften Gestirne hegen können.

Diese theoretische Ansicht über das optische Verschwinden des eigentlichen Kernes bei Nebelsternen, hat von Seiten Sir John Herschel's Bemerkungen hervorgerufen, welche ich hier beantworten will.

Das Folgende sind die eigenen Ausdrücke, deren sich der Verfasser der Outlines of Astronomy bedient hat [24]): „Herr Arago hat die Vermuthung geäußert, die planetarischen Nebel seien vielleicht Hüllen, erleuchtet durch einen in ihrem Mittelpunkte befindlichen Sonnenkörper, welcher selbst, infolge der sehr großen Entfernung, unsichtbar sei. Den in dieser Erklärung liegenden scheinbaren Widerspruch hebt er auf oder sucht vielmehr ihn aufzuheben durch den optischen Lehrsatz: daß eine erleuchtete Fläche in allen Entfernungen gleich hell erscheinen muß, und folglich, sobald sie nur groß genug ist, um unter einem meßbaren Winkel zu erscheinen, überall gleich gut gesehen wird; während das Licht des Centralkörpers, der nicht unter einem solchen Winkel erscheint, für unser Auge im Verhältniß des Quadrats der Entfernungen abnimmt. Trotz der großen Achtung, die man einer solchen Autorität schuldet, kann ich diesem Schlusse nicht beistimmen. Denn wollte man selbst annehmen, die Hülle reflectire und zerstreue das Licht der Centralsonne gleich gut nach allen Richtungen hin, so wird der uns erreichende Theil des Lichtes dennoch dasjenige Licht nicht übertreffen, welches uns jene Sonne direct zusendet. Nun ist aber der Vor-

ausſetzung zufolge das Licht des Centralkörpers zu ſchwach, um dem Auge bemerklich zu werden; ſeine Helligkeit wird alſo, wenn es über eine Oberfläche verbreitet iſt, welche die der Centralſonne mehrere Millionen Male übertrifft, noch um Vieles geringer ſein. In der Arago'ſchen Erklärung iſt ausdrücklich von reflectirtem Lichte die Rede; wäre die Hülle dagegen ſelbſtleuchtend, ſo würde die Folgerung vollkommen begründet ſein."

Wäre ich weniger überzeugt von Sir John Herſchel's loyaler Geſinnung und ſeinem Wohlwollen gegen mich, ſo hätte ich mehrfach Veranlaſſung mich über die obige Stelle zu beklagen.

„Herr Arago, ſchreibt der Sohn des gefeierten Aſtronomen von Slough, hat die Vermuthung geäußert, die planetariſchen Nebel ſeien vielleicht Hüllen, erleuchtet durch einen in ihrem Mittelpunkte befindlichen Sonnenkörper." Etwas dieſem Aehnliches habe ich aber niemals behauptet, ſondern geſagt: „Jedermann wird überzeugt ſein, daß wirklich helle Sterne vorhanden ſind, mit unermeßlichen, ſelbſtleuchtenden Atmoſphären umgeben." Gelegentlich einer genaueren Prüfung des Beweiſes, den William Herſchel angeblich dafür geliefert hatte, daß bei den Erſcheinungen der Nebelſterne reflectirtes Licht nicht in Betracht kommt, habe ich folgende Worte gebraucht. „Die Nebelmaterie oder der Dunſt, der einen Nebelſtern umgibt, kann entweder ſelbſtleuchtend ſein, oder er ſendet uns nur das Licht des Centralſternes zurück." Da indeſſen Sir John Herſchel die Wahrheit des von mir angewandten paradoxen Grundſatzes für directes Licht anerkennt, ſo wäre es billig geweſen zu erklären, daß in Bezug auf ſelbſtleuchtende Nebelſterne von mir zuerſt eine theoretiſche Erklärung für das Verſchwinden des Centralpunktes aufgeſtellt worden iſt, an welche vorher Niemand gedacht hatte. Gegenwärtig füge ich noch hinzu, daß ich keinen Grund kenne, der uns abhalten dürfte dieſe Erklärung auch auf den Fall anzuwenden, wo die den Stern umgebende Atmoſphäre nur in reflectirtem, vom Centralkörper herrührendem Lichte leuchten würde. Es iſt nämlich klar, daß eine derartige Atmoſphäre, was die Strahlung betrifft, durchaus nicht von einer ſelbſtleuchtenden verſchieden ſein würde. Wenn ich Sir John Herſchel's Einwand richtig verſtehe, ſo glaubt derſelbe nicht zugeben zu können, daß reflectirtes Licht möglicher

Weise auf größere Entfernung hin sichtbar sei, als der strahlende Körper, von dem es ausgeht. Was ist aber Wunderbares in dieser Behauptung, sobald man daran denkt, daß die Stärke des direct vom strahlenden Punkte kommenden Lichtes im Verhältniß des Quadrats der Abstände abnimmt, während reflectirtes Licht solange ungeschwächt bleibt, als der Winkel, unter welchem der reflectirende Körper oder mehrere reflectirende Körper erscheinen, einen merklichen Werth behält?

Zweiundzwanzigstes Kapitel.

Ueber die Atmosphären der Fixsterne.

Mairan ist, glaube ich, der Erste gewesen, welcher die Nebel, mit denen einige Sterne umgeben sind, für ihre Atmosphären gehalten hat. Im Jahre 1731 bemerkte er einen kreisrunden, regelmäßigen Schimmer um den Stern d, welchen Huygens im Jahre 1656 gänzlich außerhalb des schönen Orionnebels gesetzt hatte. „Dieser helle Schimmer, sagte er, möchte demjenigen durchaus ähnlich sein, den die Atmosphäre unserer Sonne, wie mich dünkt, hervorbringen würde, wenn sie dicht und groß genug wäre, um in Fernröhren auf so große Entfernung hin sichtbar zu sein.“ (Traité de l'Aurore boréale, 2. Ausg. S. 263).

Mairan hat hier, wie man sieht, denselben photometrischen Fehler wie William Herschel begangen: die Entfernung könnte am Eigenglanze der Sonne nicht das Geringste ändern.

Lacaille stimmte den Vorstellungen seines Collegen in der Akademie der Wissenschaften keineswegs bei. Seiner Ansicht zufolge waren die Nebelsterne „Nichts als Sterne, welche sich in Beziehung auf uns gerade in der Gesichtslinie der Nebelflecke befanden.“ (Memoiren der pariser Akademie vom Jahre 1755, S. 195). Ein so heller, klarer und eindringender Verstand hätte sehr bald jede aus der Perspective hergenommene Erklärungsweise aufgegeben, wenn das Wort Wahrscheinlichkeit sein Ohr berührt hätte, und wenn ein ein-

ziges Mal der Gedanke in ihm aufgestiegen wäre, von diesem Gesichtspunkte aus die Entdeckung von vierzehn einfachen oder mehrfachen Nebelsternen zu prüfen, die er am Cap der guten Hoffnung aufgefunden hatte. Lacaille's wenig umfangreiches Verzeichniß bietet eine Bemerkung, welche durch Herschel's Beobachtungen, irre ich nicht, Bestätigung gefunden hat: daß kein Stern heller als sechster Größe mit Nebel umgeben ist; indessen ist dies Resultat, aus dem äußerst fruchtbare Folgerungen für die Kosmogonie hervorgehen würden, vielleicht noch nicht vollkommen erwiesen. Es wäre nämlich möglich, daß bei Sternen zwischen erster bis fünfter Größe der Glanz stark genug wäre, um selbst in den besten Fernröhren das schwache Licht der Atmosphären auszulöschen, und man müßte also versuchen dieselben in dem Augenblicke zu erkennen, wo der Centralstern durch ein Diaphragma verdeckt wäre [25]). Die Astronomen werden, ohne daß ich mich weiter über den Gegenstand verbreite, die Wichtigkeit dieser Beobachtungen einsehen, die ich ihnen anzustellen empfehle.

Dreiundzwanzigstes Kapitel.

Ueber eine diffuse, im Himmelsraume verbreitete Materie, welche nicht selbst leuchtet und unvollkommen durchsichtig ist.

William Herschel war der Meinung, durch Beobachtungen, die ich sogleich anführen werde, dargethan zu haben, daß außer der diffusen, selbstleuchtenden Materie, von welcher so viel die Rede gewesen, noch ein anderer, gleichfalls diffuser Stoff vorhanden sei, der weder leuchtet noch vollkommen durchsichtig ist.

Im März 1774 bemerkte nämlich dieser berühmte Astronom nördlich vom großen, schönen Orionnebel, auf beiden Seiten des bekannten Mairan'schen Nebelsternes zwei andere, kleinere Sterne, die gleichfalls mit kreisrunden Nebeln umgeben waren.

Im December 1810 waren die Nebel um beide Sternchen verschwunden. Auch am 19. Januar 1811 sah man davon, selbst im

40 füßigen Telescope, keine Spur, während der den Hauptstern umgebende Nebel nur eine ganz geringe Schwächung erfahren hatte.

Allen diesen drei Nebeln lag, nach Herschel's Meinung, nichts Wirkliches zu Grunde. Erblickt man nämlich einen Stern durch eine Dunstmasse hindurch, so sieht man ihn in der Mitte eines leuchtenden Scheines, der von einem Theile des durch den Stern erleuchteten Dunstes herrührt. Eine ganz ähnliche Ursache hatte nun, nahm der gefeierte Astronom an, die Nebelerscheinungen erzeugt, die er im Jahre 1774 rund um die drei genannten Sterne beobachtet hatte; aber an Stelle jenes gewöhnlichen Dunstes war eine kosmische Materie getreten, welche zwar in geringerer Entfernung von uns stand als jene drei Sterne, dennoch aber den obersten Regionen des Firmaments angehörte, und unmittelbar mit dem großen Orionnebel in Verbindung war. Diese Materie glänzte nicht in eigenem Lichte, weil man in einiger Entfernung von den Sternen keine Spur davon wahrnehmen konnte; sie reflectirte in hohem Grade, in der Richtung auf unser Auge, diejenigen Strahlen der Sterne, welche unter wenig von der Senkrechten abweichenden Winkeln einfielen; aber es fehlte ihr jene vollkommene Durchsichtigkeit, mit der man sich alle gasförmigen Massen in den Himmelsräumen gern begabt denkt. Es war eine Folge der Concentrationsbewegung, deren Einwirkung der ganze von Huygens entdeckte Nebelfleck, wie wir oben gezeigt haben (Kap. 15, 16, 17 und 19), unterliegt, wenn sich diese Materie im Jahre 1810 nicht mehr genau zwischen uns und den beiden Sternchen befand; damit ist der Grund erklärt, weshalb man das im Jahre 1774 so sichtbare Phänomen 36 Jahre später nicht mehr wahrnehmen konnte *).

*) Erwiesenes Verschwinden eines Sternnebels würde ein ganz außerordentliches und sehr folgenreiches Phänomen sein; ich habe aus diesem Grunde geglaubt untersuchen zu müssen, ob die Annalen der Wissenschaft nicht irgend eine Thatsache darböten, die den beiden von Herschel angeführten analog wäre. Meine Nachforschung ist, glaube ich, nicht erfolglos gewesen. Lacaille hatte während seines Aufenthaltes am Cap, im Sternbilde des Schiffes (310 Bode) fünf kleine Sterne mitten in einem Nebelflecke gesehen, von dem Dunlop mit weit vorzüglicheren Instrumenten im Jahre 1825 keine Spur auffand [26]).

Dies iſt, wenn ich ſie richtig verſtanden habe, Herſchel's Theorie. Ich will an dieſer Stelle nicht unterſuchen, ob es nicht einfacher geweſen wäre die runden Nebel um die drei Orionſterne zu den leuchtenden Atmoſphären der gewöhnlichen Nebelſterne zu rechnen, und dann die Schwächung der größeren, ſowie das Verſchwinden der beiden andern der Annäherung der atmoſphäriſchen Hüllen an den Mittelpunkt jedes Sternes zuzuſchreiben. So viel ich ſehe, enthalten die Beobachtungen zunächſt Nichts, was dieſer Erklärungsweiſe entgegenſtände; aber ſobald man ſich einmal veranlaßt fühlt anderer Meinung zu ſein, als der gefeierte Aſtronom von Slough, wird die ſtrengſte Zurückhaltung ſogleich eine unabweisliche Pflicht.

Vierundzwanzigſtes Kapitel.

Zuſammenhang zwiſchen Nebelflecken und Doppelſternen.

Einige Nebelflecken ſcheinen mit Doppelſternen in einem Zuſammenhange zu ſtehen, deſſen Urſache unbekannt iſt. So ſieht man z. B. im Schützen in $18^h\ 7^m\ 2^s$ Rectaſcenſion und $19^o\ 56'$ ſüdlicher Declination (Fig. 125) einen elliptiſchen Nebel, deſſen große Are etwa $50''$ beträgt. Auf dieſer Are befinden ſich zwiſchen den beiden Brennpunkten und Scheiteln der Ellipſe, in ſymmetriſcher Stellung, zwei Doppelſterne, jeder aus zwei Sternen zehnter Größe beſtehend.

Richtet man den Blick auf den Punkt am Himmel, deſſen Rectaſcenſion $18^h\ 25^m$ und nördliche Declination $84^o\ 53'$, oberhalb, von δ im Kleinen Bären, ſo ſieht man, nach Struve, einen elliptiſchen Nebelfleck (Fig. 126), und in jedem Scheitel deſſelben einen Doppelſtern, der aus zwei ungleichen Componenten beſteht.

In $13^h\ 47^m\ 33^s$ Rectaſcenſion und $39^o\ 8'$ ſüdlicher Declination befindet ſich im Centaur, nach John Herſchel, ein zwei Minuten im Durchmeſſer haltender Nebelfleck (Fig. 127); nahe beim Mittelpunkte deſſelben bemerkt man einen Doppelſtern, deſſen beide Componenten

neunter bis zehnter Größe kaum merklich ungleich sind; ihr gegenseitiger Abstand beträgt 2″.

Fünfundzwanzigstes Kapitel.

Die Magellanischen Wolken.

Unter den in der Astronomie gebräuchlichen Sternbildern habe ich (8. Buch, 5. Kap. S. 274) die Große und die Kleine Wolke oder die Magellanischen Wolken genannt „ein Gegenstand, welcher in der Welt der Gestaltungen, die das gesammte Firmament darbietet, einzig ist, ja, wenn ich mich so ausdrücken darf, die landschaftliche Anmuth der südlichen Himmelsgefilde erhöht.“ Da es mir niemals vergönnt war, diese Erscheinung des gestirnten Himmels zu betrachten, so werde ich am Besten eine Vorstellung von derselben geben, wenn ich einige Züge aus dem Bilde entnehme, welches mein Freund davon im Kosmos entwirft (3. Bd. S. 341 u. f.):

„Die beiden Magellanischen Wolken, welche wahrscheinlich zuerst von portugiesischen, dann von holländischen und dänischen Piloten Cap-Wolken genannt wurden, fesseln, wie ich aus eigener Erfahrung weiß, durch ihren Lichtglanz, ihre sie individualisirende Isolirtheit, ihr gemeinsames Kreisen um den Südpol, auf das lebhafteste die Aufmerksamkeit des Reisenden.“ Ihre gegenwärtige Benennung bezieht sich offenbar auf Magellan's Weltumsegelung, obgleich er nicht der erste Beobachter dieser Flecke gewesen ist.

Die größere der Magellanischen Wolken bedeckt 42, und die kleinere 10 Quadratgrade des Himmelsgewölbes[27]). Bei hellem Mondschein verschwindet die Kleine Wolke gänzlich, die andere verliert nur beträchtlich von ihrem Lichte. Sir John Herschel hat in der Großen Wolke gefunden: 582 Sterne, 291 Nebelflecke und 46 Sternhaufen; in der Kleinen Wolke hat er 200 Sterne gezählt, nebst 37 Nebelflecken und 7 Sternhaufen. Man sieht, daß das Verhältniß der Nebelflecke in der Kleinen Wolke zu den Nebeln der Großen Wolke ist wie 1 : 8,

während das Verhältniß der isolirten Sterne sich wie 1 : 3 ergibt; die Kleine Wolke enthält also verhältnißmäßig viel mehr Nebelflecke als die Große.

Dem Auge des Beobachters bieten die Magellanischen Wolken gewissermaßen ein Miniaturbild des gestirnten Himmels dar; man erblickt darin Sterngruppen und Sternhaufen, und die Nebelmaterie in verschiedenen Stadien der Verdichtung.

Anmerkungen der deutschen Ausgabe.

Zum elften Buch.

1. S. 429. Jeaurat's Verzeichniß der 64 hauptsächlichsten Sterne in den Plejaden findet man auch in Bode's Jahrbuch für 1787 S. 206. Gegenwärtig kennt man indessen die Sterne dieser Gruppe viel vollständiger und beträchtlich genauer durch die Verzeichnisse von Rümker und Bessel im XVIII. Bde. der Astronomischen Nachrichten und im I. Bde. von Bessel's Astron. Untersuchungen.

2. S. 430. Nachträglich und mit Bezug auf S. 166 und 182 Anm. 2, mag noch erwähnt werden, daß Heiß mit bloßem Auge in der Plejadengruppe 11 Sterne erkennt (De magnitudine relativa cet. S. 4).

3. S. 433. Lacaille in seinem Verzeichnisse der südlichen Nebelflecke; Memoiren der Pariser Akademie 1755. S. 195.

4. S. 433. Im französischen Texte wird diese Aeußerung offenbar irrthümlich in's Jahr 1771 versetzt.

5. S. 434. Wie die Vorrede zu Simon Marius Schrift Mundus Jovialis anno 1609 detectus cet. Nürnberg 1614, angibt, ist die Entdeckung am 15. December 1612 geschehen. — Marius Mayer aus Gunzenhausen starb 1624.

6. S. 434. Arago theilt hier den allgemein verbreiteten Irrthum über den eigentlichen Entdecker des Orionnebels, einen Irrthum, in welchem sich bis auf die neuste Zeit, von Huygens und Halley an bis auf Sir John Herschel und Humboldt alle Astronomen befunden haben, mit einziger Ausnahme Bessel's. Der Nebel im Orion ist nicht erst im Jahre 1656 von Huyghens entdeckt worden, sondern wird schon im Jahre 1619 erwähnt in der Schrift des Baptist Cysat: Mathemata astronomica de loco Cometae qui sub finem anni 1618 cet. Nachdem auch Bessel's Bemerkung unbeachtet vorübergegangen war (Bode's Jahrbuch für 1808 S. 122), hat erst in neuster Zeit der berner Astronom Rudolph Wolf Cysat's Ansprüche auf diese wichtige Entdeckung, sowie auf die des Huygens'schen Saturnsmondes geltend gemacht, in seiner Schrift Joh. Bapt. Cysat von Luzern, Bern 1853.

7. S. 435. In seiner Aufzählung der sechs im Jahre 1716 bekannten Nebelflecke (The Philos. Transactions from the Year 1700 to the Year 1720 abrig'd. Vol. IV. S. 224, 225) nennt Halley irriger Weise noch Bullialdus als den Entdecker des Andromedanebels.

8. S. 435. A. a. O. S. 225: Dieser Nebelfleck wurde im Jahre 1665 durch einen Deutschen M. J. Abraham Ihle entdeckt, als dieser den Saturn in der Nähe seines Aphels beobachtete; vergl. Lalande Astr. § 837.

9. S. 435. Den Katalog der Nebelflecke und Sternhaufen, auch die von Mechain entdeckten enthaltend, findet man außerdem in Bode's Jahrbuch für 1786 S. 164—166.

10. S. 436. In den Jahrgängen 1786, 1789 und 1802 der Transactionen, die Originalbeobachtungen Herschel's enthaltend. Bode hat diese drei Kataloge mit Zugrundelegung der Sternörter in Wollaston's Specimen of a general Astronomical Catalogue reducirt, und in dieser bequemeren Form findet man die Verzeichnisse aller 2500 Herschelschen Nebelflecke und Sternhaufen in den Berliner Jahrbüchern für 1790, 1794 und 1807.

11. S. 436. Seine Ansichten und Untersuchungen über die kugelförmigen Sternhaufen und Nebelflecke hat Herschel mitgetheilt in der Abhandlung über die Verbindung des gestirnten Theils des Himmels mit dem nebligen (Phil. Trans. for 1814 und übersetzt in Bode's Jahrbuch für 1818).

12. S. 437. Dunlop's Nebelkatalog (Phil. Trans. for 1828) No. 289 und 573. Beide merkwürdige Objecte sind von Sir John Herschel während seines Aufenthaltes am Cap wieder beobachtet worden; im ersten Sternhaufen (No. 3352 der Capreise) sah Herschel den gelben (orangefarbenen) Stern, aber der rothen erwähnt er nicht; den zweiten (No. 3770) fand er zwar auflösbar in Sterne 14. bis 16. Größe, aber diese schwachen Sterne zeigten in seinem Teleskope keine bläuliche Färbung.

13. S. 439. Diesen äußerst merkwürdigen Ringnebel entdeckte Darquier bei Gelegenheit seiner Beobachtungen des von Bode entdeckten Cometen von 1779, und theilte Position und Beschreibung mit in Bode's Jahrbuch für 1784 S. 199. In neuster Zeit hat man erkannt, daß er ganz aus kleinen Sternen zusammengesetzt ist. Bekannt sind gegenwärtig am ganzen Himmel nur vier Ringnebel, zwei auf der nördlichen und zwei auf der südlichen Halbkugel; vergl. Outlines of Astron. § 875. Anm.

14. S. 440. Zu der hier wiederholten Abbildung des Nebels in den Jagdhunden gibt John Herschel die nachfolgende Beschreibung (Philos. Transact. for 1833 S. 496): „Messier sagt von diesem seltsamen Gegenstande: „Sternloser Nebelfleck; mit einem $3^1/_2$ füßigen Fernrohre ist er nur schwer zu erkennen; er besteht aus zwei Nebeln, jeder mit einem hellen Kerne in 4′ 35″ Entfernung. Beider Atmosphären berühren sich.“ Aus dieser Schilderung geht deutlich hervor, daß die eigenthümliche Erscheinung des den Central-Nucleus umgebenden Nebelringes von Messier nicht bemerkt worden war. Mein Vater beschreibt diesen Gegenstand als einen hellen runden

Nebelfleck, der in einiger Entfernung von einer Gloria umgeben ist und einen Begleiter hat; es scheint aber nicht, daß er die Theilung des Ringes in zwei Arme am südlichfolgenden Rande erkannte; dies ist aber einer der merkwürdigsten und interessantesten Anblicke. Angenommen, das Ganze bestehe aus Sternen, so muß für einen Beobachter auf einem der diesen Sternen zugehörigen Planeten das Ganze einen unserer Milchstraße ähnlichen Anblick gewähren."

15. S. 440. Fig. 123 ist den Kupfern zu Lord Rosse's Abhandlung Observations on the Nebulae entlehnt; Philos. Trans. for the Year 1850. Ebendaher Fig. 124.

16. S. 440. Die Abbildung 120 des in viele einzelne Massen gegliederten Nebelfleckes um η Argûs ist der Capreise Sir John Herschel's entnommen. Daselbst (S. 42—47) sind die einzelnen, innerhalb des Nebels erkennbaren Sterne bis ins Feinste einer ausgedehnten Messung unterworfen worden. Eine ausführlichere Schilderung dieses Objectes, gleichfalls nach Sir John, gibt Humboldt im Kosmos III. S. 336, 339.

17. S. 441. Herr von Humboldt hat die hier gegebenen Zahlen (a. a. O. S. 328) aus der nördlichen der beiden Planisphären abgeleitet, auf welchen in der Capreise (Results of Astron. Observ. at the Cape of Good Hope, Taf. XI.) die Vertheilung der Nebelflecke und Sternhaufen an beiden Halbkugeln graphisch dargestellt wird. Ueber das Gesetz, nach welchem die Nebel am ganzen Himmel vertheilt sind, hat Herschel seinem südlichen Nebelverzeichnisse eine eigene Untersuchung beigefügt, aus der hervorgeht, daß die Südhemisphäre im Allgemeinen eine größere Gleichmäßigkeit in der Austheilung der Nebel aufweist, als die nördliche Halbkugel.

18. S. 444. Halley an der oben (7) angeführten Stelle S. 224. Er fügt noch hinzu „diejenigen Nebelflecke aber, in denen man einen Centralstern erkennt, beweisen durch ihre unregelmäßige Gestalt, daß sie nicht blos infolge der Erleuchtung durch die Centralkörper sichtbar sind."

19. S. 444. Derham Philosoph. Transatc. for. 1733. S. 74, in seiner Abhandlung Observations of the Appearances called nebulous Stars.

20. S. 445. Sunt Chasmata quum aliquod coeli spatium desedit, et flammam dehiscens velut in abdito ostentat. Natur. Quaest. I, c. 15. Seneka spricht an dieser Stelle offenbar nur von Nordlichterscheinungen, und erwähnt gleich darauf der Farben, welche dies prächtige Phänomen auszeichnen.

21. S. 453. John Herschel hat zu zwei verschiedenen Epochen große und vollendete Abbildungen des Orionnebels gemacht (1824 und 1837), zuerst im 2. Bde. der Memoirs of the Roy. Astron. Soc. und dreizehn Jahre später in der Capreise; von nennenswerthen Darstellungen fällt zwischen diese beiden nur die von Lamont im 10. Bde. der ersterwähnten Memoiren und in der Abhandlung Ueber die Nebelflecken, München 1837. — Außer Mairan (Traité de l'Aurore Boréale 1754 S. 262) und dem älteren Herschel hatten auch schon Dom. Cassini und später Hieronymus Schröter Aenderungen in diesem Gebilde wahrzunehmen geglaubt.

22. S. 455. Vergl. John Herſchel's Outlines of Astr. S. 603, 604; die Abbildung dieſes Nebels iſt den Philos. Trans. for 1833 entnommen (Taf. X, Fig. 32).

23. S. 456. Derham in der (Anm. 19) angeführten Abhandlung S. 73.

24. S. 462. Outlines of Astronomy 1849, § 877 S. 604; Arago im Annuaire du Bureau des Longitudes 1842, S. 409.

25. S. 465. No. 3115 des Catalogverzeichniſſes iſt ein Nebelſtern ſechſter Größe; Herſchel bemerkt dazu: „Nichts iſt ſchwerer als ſich zu überzeugen ob ein Stern ſechſter Größe oder ein noch hellerer Stern wirklich von einem Nebel umgeben ſei.“ Auch Lacaille bemerkt in ſeinem Nebelkataloge, er habe (am ſüdlichen Himmel) keinen Stern heller als ſechſter Größe mit Nebel umgeben geſehen; Mém. 1755, S. 198.

26. S. 466. An der Stelle von 310 (Bode) im Schiffe hat auch John Herſchel im Südkataloge keinen Sternhaufen; ohne Zweifel iſt daher die Lacaille'ſche Poſition irrig.

27. S. 468. Siehe Kosmos III. S. 347 u. f., welche Stellen auch für das Folgende zu vergleichen ſind. John Herſchel hat in ſeiner Capreiſe ſehr ausführliche Unterſuchungen über die Große und Kleine Wolke angeſtellt (S. 143—164), und einen eigenen Katalog der zahlreichen und ſehr mannigfaltigen Objecte, welche ſie enthalten, aufgeſtellt.

Zuſätze.

1. Zu S. 33. Anm. 2. Ueber Adrian Metius und ſeine Söhne gibt Olbers ausführliche Nachrichten in Schumachers's Jahrbuch für 1843, S. 58—60.

2. Zu S. 182. Anm. 9. Arago's Abhandlung über das Funkeln der Sterne iſt zuerſt im Annuaire des Längenbureau für 1852 erſchienen.

3. Zu S. 303. Anm. 68. Die Hauptquellen zur Kenntniß der 363 chineſiſchen Sternbilder ſind Fr. Noelis Observat. astron. et physicae in India et China factae, Prag 1710, und die Abhandlung von de Guignes im 10. Bde. der Mémoires présentés (1785).

4. Zu S. 362. Z. 4. Fr. Valleſius Covarrubianus im erſten Kap. ſeiner Schrift de sacra philosophia; vergl. Almag. novum P. II, S. 153 X, 175 VII.

Inhaltsverzeichniß

des elften Bandes.

Seite

Vorwort des Verfaſſers III

Einleitende Worte geſprochen am 15. Mai 1841, bei Eröffnung der aſtronomiſchen Vorleſungen auf der pariſer Sternwarte X

Einleitende Worte geſprochen am 17. December 1846, bei Eröffnung der letzten Reihe aſtronomiſcher Vorleſungen auf der pariſer Sternwarte . . . XIV

Erſtes Buch.

Geometriſche Vorbegriffe 3

Erſtes Kapitel. Definitionen 3

Zweites Kapitel. Vom Kreiſe 4

Drittes Kapitel. Vom Gebrauche des Kreiſes 7

Viertes Kapitel. Verhältniß des Kreisumfangs zum Durchmeſſer . 10

Fünftes Kapitel. Kreisfläche 15

Sechſtes Kapitel. Ueber die Vortheile, die mit der Anwendung großer Kreiſe verknüpft ſind 16

Siebentes Kapitel. Begriffe und Definitionen, die geradlinigen Winkel betreffend 17

Achtes Kapitel. Lehrſatz über die Winkel um einen Punkt . . 21

Neuntes Kapitel. Erläuterungen über die Parallellinien und über die Winkel, welche durch ſolche Linien entſtehen, wenn ſie von einer dritten geſchnitten werden. — Summe der Winkel eines Dreiecks. — Winkel zwiſchen zwei Ebenen 22

Zehntes Kapitel. Von der Kugel 26

Elftes Kapitel. Von den Ellipſen und Parabeln 29

Anmerkungen der deutſchen Ausgabe zum erſten Buch 33

Zweites Buch.

Seite
Vorbegriffe aus der Mechanik und Uhrmacherkunst 35
Erstes Kapitel. Von dem Beharrungsvermögen, von der Ruhe, der Bewegung und den Kräften 35
Zweites Kapitel. Parallelogramm der Kräfte 36
Drittes Kapitel. Winkelbewegung 37
Viertes Kapitel. Vom Zeitmaaße 38
Fünftes Kapitel. Von den Sonnenuhren 39
Sechstes Kapitel. Ueber die Zeitmessung der Alten während der Nacht 40
Siebentes Kapitel. Von den Wasseruhren 41
Achtes Kapitel. Von den gezähnten Rädern 44
Neuntes Kapitel. Die Gewichte an den Uhren 46
Zehntes Kapitel. Vom Pendel 51
Anmerkungen der deutschen Ausgabe zum zweiten Buch 60

Drittes Buch.

Vorbegriffe aus der Optik 64
Erstes Kapitel. Eigenschaften des Lichts 64
Zweites Kapitel. Reflexion des Lichts 65
Drittes Kapitel. Von den durch Reflexion erzeugten Brennpunkten . 66
Viertes Kapitel. Von der Brechung 70
Fünftes Kapitel. Weg des Lichts durch Prismen 73
Sechstes Kapitel. Ueber die Linsen 77
Siebentes Kapitel. Ueber die verschiedenen Theorieen der Fernröhre 86
Achtes Kapitel. Das astronomische Fernrohr 87
Neuntes Kapitel. Abweichung wegen der Kugelgestalt . . . 89
Zehntes Kapitel. Chromatische Abweichung 91
Elftes Kapitel. Achromatische Fernröhre 93
Zwölftes Kapitel. Ueber das Sehen 95
Dreizehntes Kapitel. Vergrößerung durch Ocularlinsen . . 96
Vierzehntes Kapitel. Von den Vergrößerungen der Fernröhre . 102
Funfzehntes Kapitel. Methode die Vergrößerungen zu bestimmen 105
Sechszehntes Kapitel. Aus welchem Grunde schwach vergrößernde Fernröhre gar nicht zu vergrößern scheinen 108
Siebenzehntes Kapitel. Gesichtsfeld 110
Achtzehntes Kapitel. Mikrometer 111
Neunzehntes Kapitel. Von den Mikroskopen 115
Zwanzigstes Kapitel. Ein leuchtender Gegenstand von merklichem Durchmesser behält denselben Glanz in allen Entfernungen . . 117
Einundzwanzigstes Kapitel. Dauer der Empfindung des Sehens 119
Zweiundzwanzigstes Kapitel. Beobachtung sehr schwacher Gegenstände 120

Seite
Dreiundzwanzigstes Kapitel. Feld des natürlichen Sehens . . 122
Vierundzwanzigstes Kapitel. Von den Spiegelteleskopen . . 123
Anmerkungen der deutschen Ausgabe zum dritten Buch 129

Viertes Buch.

Zur Geschichte der astronomischen Instrumente 133
Erstes Kapitel. Geschichte der Spiegelteleskope 133
Zweites Kapitel. Glas war schon bei den Alten bekannt . . 139
Drittes Kapitel. Die Alten kannten die erwärmenden Eigenschaften, welche die Brennpunkte der Vergrößerungsgläser besitzen . . . 141
Viertes Kapitel. Haben die Alten die Vergrößerungskraft convergekrümmter Gläser gekannt? 141
Fünftes Kapitel. Aus welcher Zeit schreibt sich die Erfindung der Brillengläser her, d. h. jener kleinen, wenig gekrümmten Linsen, durch welche Weit- und Kurzsichtige besser sehen? 143
Sechstes Kapitel. Ob die Fernröhre den Alten bekannt waren? . 146
Siebentes Kapitel. Fernröhre 148
Anmerkungen der deutschen Ausgabe zum vierten Buch 157

Fünftes Buch.

Ueber die Sichtbarkeit der Gestirne 162
Erstes Kapitel. Einleitung 162
Zweites Kapitel. Eine der Wirkungen der Fernröhre auf die Sichtbarkeit der Sterne 163
Drittes Kapitel. Ueber die Empfindlichkeit des Auges beim Sehen der Sterne 165
Viertes Kapitel. Wie stark muß das Licht sein, um ein anderes zu verdunkeln? 168
Fünftes Kapitel. Gegenstände von einigem Umfange behalten, mit Ausnahme der Ränder, denselben Glanz, gleichviel ob man sie deutlich oder undeutlich sieht 170
Sechstes Kapitel. Ueber die Helligkeit der teleskopischen Bilder der Sterne 171
Siebentes Kapitel. Erscheinungen, die sich auf die Sichtbarkeit der Sterne bei Tage und bei Nacht beziehen, sowohl bei Beobachtungen mit bloßem Auge als mit Fernröhren 173
Achtes Kapitel. Ueber die Sichtbarkeit der Sterne in Brunnen . . 176
Neuntes Kapitel. Ueber die Sichtbarkeit der Sterne am hellen Tage 178
Zehntes Kapitel. Ueber das Funkeln der Sterne 181
Anmerkungen der deutschen Ausgabe zum fünften Buch 182

Sechstes Buch.

Seite

Von der täglichen Bewegung 183

Erstes Kapitel. Definition des Horizonts. — Tägliche Bewegung. — Diese Bewegung geschieht im Ganzen, als ob die Sterne an einer festen Kugel angeheftet wären 183

Zweites Kapitel. Anfertigung eines Himmelsglobus oder einer genauen Darstellung des Firmaments. — Die Sterne erhielten den Namen Fixsterne infolge der Vergleichung der neueren Himmelskugeln mit denen des Hipparch. — Erste Folgerungen, zu denen diese Vergleichung führt, in Betreff der unermeßlichen Entfernungen der Fixsterne von der Erde 188

Drittes Kapitel. Beobachtung der täglichen Bewegung mit einem Theodoliten. — Definition des Meridians; verschiedene Mittel ihn zu bestimmen. — Weltaxe. — Welche krummen Linien von den Sternen beschrieben werden. — Parallelkreise am Himmel. — Himmelsäquator . . 192

Viertes Kapitel. Die Sterne durchlaufen die Parallelkreise (Parallele) mit gleichförmiger Geschwindigkeit 199

Fünftes Kapitel. Die Bewegung der Sterne als Mittel zu einer genauen Bestimmung der Lage des Meridians 201

Sechstes Kapitel. Bestimmung der Lage der Weltaxe. — Breite eines Ortes. — Polhöhe 204

Siebentes Kapitel. Meinungen der Alten über die tägliche Bewegung. — Vorstellungen der Epikuräer 206

Achtes Kapitel. Die Himmel aus festem Stoffe 207

Neuntes Kapitel. Ansichten der Alten über die Weltaxe . . . 209

Zehntes Kapitel. Harmonie der Welten 210

Anmerkungen der deutschen Ausgabe zum sechsten Buch . . . 211

Siebentes Buch.

Erläuterungen über die scheinbare Bewegung der Sonne . . . 213

Erstes Kapitel. Sterntag 213

Zweites Kapitel. Zweifache Bewegung der Sonne 217

Drittes Kapitel. Eigene Bewegung der Sonne 218

Viertes Kapitel. Bestimmung der Lage der krummen Linie, in welcher die eigene jährliche Bewegung der Sonne vor sich geht. — Solstitien, Nachtgleichenpunkte, Jahreslänge in Sterntagen. — Mauerkreis — Mittagsfernrohr 220

Fünftes Kapitel. Verschiedene Einheiten beim Zeitmaaße. — Ueber den Tag und die Stunden 228

Sechstes Kapitel. Von den Sonnentagen 232

Siebentes Kapitel. Tropisches Jahr. — Perigäum. — Apogäum . 234

Seite

Achtes Kapitel. Ermittelung des Gesetzes, nach welchem die Sonne ihre Geschwindigkeit ändert, und der Natur der krummen Linie, welche sie durchläuft 235
Neuntes Kapitel. Astronomische Längen und Breiten . . . 238
Zehntes Kapitel. Ueber den Einfluß, welchen die Declinationen der Sonne überall auf der Erde auf die Länge der Tage ausüben . . 240
Elftes Kapitel. Erklärung der ungleichen Länge der Sonnentage . 243
Zwölftes Kapitel. Mittlere Zeit 246
Dreizehntes Kapitel. Die Zeitgleichung 251
Vierzehntes Kapitel. Seit wann die pariser Uhren nach mittlerer Zeit gehen 253
Anmerkungen der deutschen Ausgabe zum siebenten Buch . . . 254

Achtes Buch.

Von den Sternbildern 257
Erstes Kapitel. Aufstellung eines Sternverzeichnisses . . . 257
Zweites Kapitel. Coordinaten der Sterne 262
Drittes Kapitel. Die wichtigsten Sternverzeichnisse und Himmelsatlasse 263
Viertes Kapitel. Bemerkungen über den Nutzen der Sternbilder und über die Verbesserungen, die man hier vorgeschlagen hat . . . 267
Fünftes Kapitel. Anzahl der Sternbilder 270
Sechstes Kapitel. Aeußere Umrisse der Sternbilder. 277
Siebentes Kapitel. Die Bilder und Zeichen des Thierkreises (Zodiakus) 280
Achtes Kapitel. Anzahl der in den alten Sternbildern enthaltenen Sterne; Vertheilung derselben in verschiedene Größenklassen . . 283
Neuntes Kapitel. Hülfsmittel um die Sternbilder der Alten kennen zu lernen 287
Zehntes Kapitel. Zu welcher Zeit die Sternbilder eingeführt wurden 292
Elftes Kapitel. Ueber die Versuche, die man gemacht hat, neue Sternbilder an Stelle derer der griechischen Sphäre einzuführen . . . 296
Anmerkungen der deutschen Ausgabe zum achten Buch 297

Neuntes Buch.

Von den einfachen Sternen 304
Erstes Kapitel. Eintheilung der Sterne in Klassen, je nach dem Grade ihrer Helligkeit 304
Zweites Kapitel. Die Anzahl der mit bloßem Auge sichtbaren Sterne ist beträchtlich geringer, als man vermuthen möchte 306
Drittes Kapitel. Bestimmung der Anzahl von Sternen aller Größen, die mit unsern heutigen Instrumenten wahrnehmbar sind 306
Viertes Kapitel. Helligkeitsverhältnisse der Sterne verschiedener Größe 308

Seite

Fünftes Kapitel. Welches ist die wahrscheinlichste Entfernung der schwächsten, mit bloßem Auge oder mit den mächtigsten Fernröhren sichtbaren Sterne? 314
Sechstes Kapitel. Scheinbare Durchmesser der Sterne . . 316
Siebentes Kapitel. Wirkliche Sterndurchmesser 320
Achtes Kapitel. Ob das Licht der Sterne veränderlich sei? . . 322
Neuntes Kapitel. Es gibt Sterne von abnehmender Helligkeit . 326
Zehntes Kapitel. Verschwundene oder vollständig verlöschte Sterne . 327
Elftes Kapitel. Es gibt Sterne von zunehmender Helligkeit. . . 329
Zwölftes Kapitel. Hypothesen über die Vertheilung der Sterne am Himmel 330
Dreizehntes Kapitel. Ob die Anzahl der Sterne unbegrenzt sei, und ob das Licht durch ein gewisses elastisches, dem Aether vergleichbares, zwischen Erde und den Sternen befindliches Mittel geschwächt werde? . 331
Vierzehntes Kapitel. Ueber die unvollkommene Durchsichtigkeit der Himmelsräume 333
Funfzehntes Kapitel. Veränderliche oder periodische Sterne . . 334
Sechzehntes Kapitel. Wer zuerst die veränderlichen Sterne erwähnt hat 337
Siebzehntes Kapitel. Genauere Nachrichten über o im Wallfische . 338
Achtzehntes Kapitel. Der veränderliche Stern in der Krone . . 342
Neunzehntes Kapitel. Der veränderliche Stern im Herkules . . 343
Zwanzigstes Kapitel. β in der Leyer 343
Einundzwanzigstes Kapitel. Algol 344
Zweiundzwanzigstes Kapitel. η im Schiffe Argo . . . 345
Dreiundzwanzigstes Kapitel. Erklärung der Helligkeitsänderungen bei den veränderlichen Sternen 347
Vierundzwanzigstes Kapitel. Wichtigkeit der Beobachtung der veränderlichen Sterne 349
Fünfundzwanzigstes Kapitel. Die Lichtstrahlen verschiedener Farbe durchlaufen die Himmelsräume mit gleicher Geschwindigkeit . . 350
Sechsundzwanzigstes Kapitel. Obere Grenze für die Dichtigkeit des Aethers 352
Siebenundzwanzigstes Kapitel. Neue oder kurzzeitige Sterne . 353
Achtundzwanzigstes Kapitel. Neuer Stern von 1572 . . 354
Neunundzwanzigstes Kapitel. Stern von 1604. . . . 356
Dreißigstes Kapitel. Sterne von 1670 und 1848 . . . 357
Einunddreißigstes Kapitel. Ueber die verschiedenen Erklärungen, welche man von den neuen Sternen gegeben hat 358
Zweiunddreißigstes Kapitel. Die jährliche Parallaxe der Sterne als Mittel zur Bestimmung der Entfernungen dieser Himmelskörper von unserer Erde 366

Seite

Dreiunddreißigstes Kapitel. Geschichtliches über die Untersuchungen der Astronomen, die jährliche Parallaxe der Fixsterne betreffend . 374

Vierunddreißigstes Kapitel. Die Fixsterne leuchten in ihrem eigenen, von ihnen selbst erzeugten Lichte 381

Anmerkungen der deutschen Ausgabe zum neunten Buch . . . 382

Zehntes Buch.

Von den mehrfachen Sternen 389

Erstes Kapitel. Was versteht man unter zweifachen, dreifachen, vierfachen Sternen? 389

Zweites Kapitel. Von den Doppelsternen 390

Drittes Kapitel. Dreifache Sterne 392

Viertes Kapitel. Vierfache Sterne 393

Fünftes Kapitel. Vielfache Sterne 393

Sechstes Kapitel. Lichtstärken und Farben der Doppelsterne . . 394

Siebentes Kapitel. Ob die Farbenverschiedenheit bei den Doppelsternen eine optische Täuschung sei? 396

Achtes Kapitel. Epoche der Entdeckung der blauen Sterne . . 398

Neuntes Kapitel. Ueber die Erklärungen, welche man von der Färbung der vielfachen Sterne gegeben hat 399

Zehntes Kapitel. Ob die bei vielfachen Sternen wahrgenommenen relativen Färbungen allezeit unverändert bleiben? 401

Elftes Kapitel. Warum die Doppelsterne plötzlich Gegenstand so vieler eifrigen Beobachtungen geworden sind? 402

Zwölftes Kapitel. Messung der relativen Ortsveränderung der Doppelsterne 403

Dreizehntes Kapitel. Folgerungen aus der Natur der bei den Doppelsternen beobachteten Bewegungen für die Allgemeinheit der Newton'schen Attraction 408

Vierzehntes Kapitel. Wenn die Entfernungen der Doppelsterne von der Erde bekannt sein werden, wird man auch die Massen der Sterne mit bekannten relativen Bewegungen leicht mit der Erdmasse oder mit der Sonnenmasse vergleichen können 409

Funfzehntes Kapitel. Die Beobachtungen der eigentlichen Doppelsterne können einst zur Bestimmung entweder der Entfernung dieser Sternpaare von der Erde führen, oder wenigstens zu Grenzen, zwischen denen dieselbe nothwendig fallen muß 411

Sechzehntes Kapitel. Die Doppelsterne sind ein Mittel geworden zur Bestimmung der Güte großer Fernröhre und Spiegelteleskope . . 418

Siebzehntes Kapitel. Welche Rolle die Wahrscheinlichkeitsrechnung in Betreff der vielfachen Sterne gespielt hat 420

Seite

Achtzehntes Kapitel. Von den eigentlichen Entdeckern der Fixsternbegleiter 422
Anmerkungen der deutschen Ausgabe zum zehnten Buch 426

Elftes Buch.

Nebelflecke 428
Erstes Kapitel. Definition 428
Zweites Kapitel. Sternhaufen 429
Drittes Kapitel. Ueber die Natur der Nebelflecke 432
Viertes Kapitel. Historische Uebersicht über die Entdeckung der Nebelflecke 434
Fünftes Kapitel. Auflösliche Nebelflecke; Gestalt derselben . . 436
Sechstes Kapitel. Kreisförmige oder kugelförmige Nebelflecke . . 436
Siebentes Kapitel. Ueber die Anzahl der Sterne in gewissen kugelförmigen Nebelflecken 438
Achtes Kapitel. Durchbohrte oder ringförmige Nebelflecke und spiralförmige Nebel 439
Neuntes Kapitel. Die Nebelflecke sind nicht gleichförmig über den ganzen Himmel verbreitet 440
Zehntes Kapitel. Ueber den Zusammenhang der Nebelflecke mit den umliegenden Räumen 441
Elftes Kapitel. Die sternärmsten Gegenden liegen bei den reichsten Nebelflecken 441
Zwölftes Kapitel. Die diffuse Materie erfüllt weite Himmelsräume 442
Dreizehntes Kapitel. Den großen schimmernden Flecken fehlt jede regelmäßige Gestaltung 443
Vierzehntes Kapitel. Ueber das Licht der eigentlichen Nebelflecke . 444
Funfzehntes Kapitel. Vertheilung der phosphorescirenden Materie in den eigentlichen Nebelflecken; Aenderungen, welche darin infolge der Attraction mit der Zeit eintreten 446
Sechzehntes Kapitel. Geschichtliches Detail über die Umwandlung von Nebelflecken in Sterne; Prüfung der Bedenken, welche diese Vorstellungen des Uebergangs erregt haben 448
Siebzehntes Kapitel. Von der Verdichtung, welche die diffuse Materie erleiden muß, um in Sterne überzugehen 450
Achtzehntes Kapitel. Vergleichung der Intensitäten des Gesammtlichtes eines Nebelfleckes und des condensirten Fixsternlichtes . . 451
Neunzehntes Kapitel. Beobachtete Veränderungen in einigen Nebelflecken 452
Zwanzigstes Kapitel. Planetarische Nebel. — Ist es begründet, daß man zur Erklärung des gleichförmigen Glanzes ihrer Scheiben nothwen-

Seite

dig annehmen müſſe, die diffuſe Materie werde von einer gewiſſen Stufe der Verdichtung an undurchſichtig 453

Einundzwanzigſtes Kapitel. Nebelſterne 455

Zweiundzwanzigſtes Kapitel. Ueber die Atmoſphären der Fixſterne 464

Dreiundzwanzigſtes Kapitel. Ueber eine diffuſe, im Himmelsraume verbreitete Materie, welche nicht ſelbſt leuchtet und unvollkommen durchſichtig iſt 465

Vierundzwanzigſtes Kapitel. Zuſammenhang zwiſchen Nebelflecken und Doppelſternen 467

Fünfundzwanzigſtes Kapitel. Die Magellaniſchen Wolken . . 468

Anmerkungen der deutſchen Ausgabe zum elften Buch 469

Verzeichniß der Figuren

des elften Bandes.

Fig.		Seite
1.	— Theilung des Kreiſes in Grade	9
2.	— Beweis des Verhältniſſes zwiſchen Umfang und Durchmeſſer des Kreiſes	12
3.	— Meſſung der Breite eines Fluſſes	20
4.	— Beweis des Lehrſatzes über die Summe der Winkel um einen Punkt	21
5.	— Gleichheit der Gegenwinkel, die durch Parallellinien gebildet werden	22
6.	— Gleichheit der nach derſelben Seite hin liegenden, von Parallellinien gebildeten Winkel	23
7.	— Gleichheit der durch Parallellinien gebildeten inneren Wechſelwinkel	23
8.	— Die Summe der Winkel eines Dreiecks beträgt 180 Grade oder zwei rechte Winkel	24
9.	— Erzeugung einer Kugel. — Größte und kleine Kreiſe	27
10.	— Sphäriſches Dreieck	28
11.	— Graphiſches Verfahren eine Ellipſe zu zeichnen	29
12.	— Eigenſchaften der Ellipſe	30
13.	— Eigenſchaften der Parabel	32
14.	— Parallellogramm der Kräfte	36
15.	— Sonnenuhr	39
16.	— Kteſibius' Waſſeruhr in der Wiederherſtellung von Perrault	42
17.	— Durchſchnitt der Waſſeruhr des Kteſibius	42
18.	— Bewegung von ſich berührenden Kreiſen, nach der Vorſtellung des Ariſtoteles	44
19.	— Uhrgewicht von vorn und von der Seite geſehen	47
20.	— Gewichtuhr von der Seite und von vorn geſehen	48
21.	— Die Uhrfeder an einer Trommel, welche mit einem gezähnten Rade verſehen iſt	49
22.	— Die Trommel mit der Schnecke in Verbindung	50
23.	— Pendelbewegung	1

Fig.		Seite
24.	— Erzeugung der Cycloide	53
25.	— Fall eines Körpers längs der concaven Seite der Cycloide	53
26.	— Princip des Cycloiden-Pendels	54
27.	— Huyghens' Cycloiden-Pendel	55
28.	— Die Spiralfeder in Verbindung mit der Unruhe	56
29.	— Ansicht des Breguet'schen freien Stoßwerkes	58
30.	— Aufriß des freien Stoßwerkes	58
31.	— System der gezähnten Räder in einer Pendeluhr	59
32.	— Gesetz der Reflexion des Lichtes	65
33.	— Entstehen der Brennpunkte durch Reflexion	67
34.	— Brennpunkt eines Hohlspiegels	68
35.	— Conjugirte Brennpunkte	69
36.	— Entstehen der Bilder bei Hohlspiegeln	69
37.	— Brechung des Lichts	70
38.	— Das Sinusgesetz	71
39.	— Uebergang des Lichts aus einem dichteren Mittel in ein weniger dichtes	72
40.	— Durchgang des Lichtes durch eine Glasplatte mit parallelen Flächen	73
41.	— Prisma	74
42.	— Durchgang des Lichtes durch ein Prisma, auf welches dasselbe senkrecht aufgefallen ist	74
43.	— Durchgang des Lichtes durch ein Prisma, wenn der Strahl schief auffällt, und zwar oberhalb der Senkrechten auf der Einfallsfläche	75
44.	— Durchgang des Lichtes durch ein Prisma, wenn der Strahl schief auffällt, und zwar unterhalb der Senkrechten auf der Einfallsfläche	75
45.	— Durchgang des Lichtes durch ein unvollständiges Prisma	76
46.	— Entstehen der Brennpunkte durch Brechung	76
47.	— Linsenglas	78
48.	— Axe der Linse	78
49.	— Durchgang des Lichtes durch eine Linse	79
50.	— Entstehen des Brennpunktes einer Linse	80
51.	— Der Brennpunkt einer Linse ist unabhängig von den Einfallspunkten	80
52.	— Austritt paralleler Strahlen	80
53.	— Divergenz der Strahlen, die von einem näher als der Hauptbrennpunkt bei der Linse belegenen Punkte ausgehen	81
54.	— Convergenz der Strahlen, die von einem zwischen der Linse und dem Hauptbrennpunkte belegenen Punkte ausgehen	81
55.	— Die secundären Brennpunkte einer Linse	82
56.	— Planconvexe Linse	83
57.	— Convexconcave Linse	83
58.	— Biconcave Linse	83
59.	— Durchgang eines der Axe parallelen Lichtstrahls durch eine biconcave Linse	83

Fig.		Seite
60.	— Entstehen der Brennpunkte auf den Nebenaxen	84
61.	— Optischer Mittelpunkt einer Linse	85
62.	— Entstehen des Bildes durch eine Linse	85
63.	— Entstehen des Bildes in einer Loupe	88
64.	— Princip des astronomischen Fernrohrs	88
65.	— Durchschnitt des astronomischen Fernrohrs	89
66.	— Zerstreuung oder Dispersion des Lichtes	91
67.	— Verschieden gefärbte Bilder im Brennpunkte	92
68.	— Achromatisches Prisma	94
69.	— Achromatische Linse	95
70.	— Einrichtung des Auges	96
71.	— Vorrichtung, um sehr kleine Gegenstände deutlich zu sehen	100
72.	— Erklärung der linearen Vergrößerung eines Fernrohrs	102
73.	— Flächenvergrößerung eines Fernrohrs	103
74.	— Berührung des gewöhnlichen und des außergewöhnlichen Bildes, welche beide durch einen doppeltbrechenden Krystall entstehen	106
75.	— Trennung der beiden Bilder eines doppeltbrechenden Prismas	106
76.	— Uebereinandergreifen der beiden Bilder eines doppeltbrechenden Prismas	106
77.	— Gesichtsfeld eines Fernrohrs	110
78.	— Die Lichtstärke ist von der Entfernung abhängig	118
79.	— Ansicht des Newton'schen Spiegeltelescops	124
80.	— Durchschnitt des Newton'schen Telescops	125
81.	— Ansicht des Gregory'schen Telescops	126
82.	— Durchschnitt des Gregory'schen Spiegeltelescops	127
83.	— Ansicht des Herschel'schen Telescops	138
84.	— Durchschnitt des Herschel'schen Telescops	139
85.	— Photometrisches Experiment zur Vergleichung zweier Lichter	168
86.	— Gleichförmiger Glanz einer Fläche von beträchtlicher Größe	170
87.	— Messung der Winkeldistanzen der Sterne mittelst Dioptern	187
88.	— Messung der Winkeldistanz der Sterne mittelst zweier Fernröhre	187
89.	— Froment'scher Theodolit	193
90.	— Bestimmung des Meridians	202
91.	— Bestimmung der Weltaxe	204
92.	— Breite eines Ortes oder Polhöhe	205
93.	— Mauerkreis der pariser Sternwarte von der Seite gesehen	221
94.	— Mauerkreis der pariser Sternwarte von vorn gesehen	221
95.	— Schiefe der Ekliptik	223
96.	— Das Mittagsfernrohr	227
97.	— Parallelkreise am Himmel	258
98.	— Stundenkreise	258
99.	— Rectascension, Declination, Länge und Breite der Sterne	263

Fig.		Seite
100.	— Sternbilder der nördlichen Halbkugel	280
101.	— Sternbilder der südlichen Halbkugel	280
102.	— Sternkarte der nördlichen Halbkugel	280
103.	— Sternkarte der südlichen Halbkugel	280
104.	— Bezeichnungsweise der Sterngrößen	285
105.	— Sternbild des Großen Bären	288
106.	— Alignements zur Auffindung der wichtigsten zu Paris sichtbaren Sterne	289
107.	— Jährliche Parallaxe eines im Pole der Ekliptik befindlichen Sternes	367
108.	— Jährliche Parallaxe eines zwischen der Ekliptik und ihrem Pole gelegenen Sternes	368
109.	— Jährliche Parallaxe eines in der Ebene der Ekliptik gelegenen Sternes	369
110.	— Bestimmung der Parallaxe durch Vergleichung zweier weit von einander entfernten, aber in derselben Gegend des Himmels befindlichen Sterne	371
111.	— Karte der 64 hauptsächlichen Sterne in den Plejaden nach Jeaurat	430
112.	— Hyadengruppe (Sterngruppe an der Stirn des Stieres) . .	431
113.	— Präsepe oder die Sterngruppe im Krebse	432
114.	— Nebelfleck nahe bei ν in der Andromeda . . .	
115.	— Nebelfleck am Schwerdtgriff des Orion . . .	
116.	— Nebelfleck zwischen Kopf und Bogen des Schützen .	
117.	— Nebelfleck nahe bei ω im Centaur	
118.	— Ringförmiger Nebel zwischen β und γ in der Leyer .	
119.	— Planetarischer Nebel nahe bei β im Großen Bären .	
120.	— Nebelfleck bei η im Schiffe Argo	
121.	— Nebelfleck im nördlichen Jagdhunde nach Herschel .	. . . 440
122.	— Nebelfleck zwischen ζ und η im Herkules . . .	
123.	— Nebelfleck im nördlichen Jagdhunde nach Lord Rosse .	
124.	— Spiralförmiger Nebel im nördlichen Flügel der Jungfrau	
125.	— Ellyptischer Nebel im Schützen	
126.	— Elliptischer Nebel bei δ im Kleinen Bären . . .	
127.	— Elliptischer Nebel im Centaur	
128.	— Nebelfleck bei ζ im Perseus	

Druckfehler.

S.	34	Z.	7 v. u.	lies 27. Bd. S. 198 statt 16. B.
„	55	„	12 v. u.	„ Huygens' statt Huyghen's.
„	55	„	6 v. u.	„ mensuraverint statt meusuraverint.
„	93	„	13 v. u.	„ achromatische statt astronomische.
„	120	„	3 v. u.	„ Beobachtung statt Seobachtung.
„	300	„	6 v. o.	„ les anciens statt anciens.

Druck von Otto Wigand in Leipzig.